

LUCAS PALHANO ISHY DE MATTOS

**Desenvolvimento de planilhas eletrônicas para dimensionamento e
detalhamento de viga parede**

Lucas Palhano Ishy de Mattos

**Desenvolvimento de planilhas eletrônicas para dimensionamento e
detalhamento de viga parede**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Wanderley Terni

Guaratinguetá - SP
2019

M444d Mattos, Lucas Palhano Ishy de
Desenvolvimento de planilhas eletrônicas para dimensionamento e detalhamento de viga parede / Lucas Palhano Ishy de Mattos – Guaratinguetá, 2020.
52 f. : il.
Bibliografia : f. 51-52

Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2020.
Orientador: Prof. Dr. Antônio Wanderley Terni

1. Concreto armado. 2. Vigas. 3. Planilhas eletrônicas. I. Título.

CDU 624.012.45

Luciana Máximo

Bibliotecária-CRB-8/3595

LUCAS PALHANO ISHY DE MATTOS

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



Prof. Dra. ISABEL CRISTINA DE BARROS
TRANNNIN

Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Antonio Wanderley Terni
Orientador/UNESP-FEG



Eng.ª Daniela Alessandra Rocco
Membro Externo



Eng.º Nathan Pereira Andrade
Membro Externo

Dedico este trabalho de modo especial,
à minha família

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos;

ao meu orientador, *Prof. Dr. Antonio Wanderley Terni* que jamais deixou de me incentivar. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível;

aos meus pais *Elias e Rosana*, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos;

às funcionárias da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar;

aos funcionários da Faculdade de Engenharia do Campos de Guaratinguetá pela dedicação e alegria no atendimento.

“Só sabemos com exatidão quando sabemos pouco; à medida que vamos adquirindo conhecimento, instala-se a dúvida.”

Goethe

RESUMO

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, são consideradas vigas-parede as vigas altas em que a relação entre o vão “L” e a altura “h” é inferior a dois em vigas biapoiadas e três em vigas contínuas. Prova-se que quando ocorre esta relação, o comportamento estrutural da viga-parede não segue à semelhança das vigas usuais em relação aos efeitos de flexão e cisalhamento posto que a viga possui um vão com dimensão proporcionalmente reduzido em relação a dimensão referente à altura da seção transversal, o que impossibilita deformar-se suficientemente à semelhança de um arco e, assim, a absorção dos esforços se dá de maneira distinta à teoria clássica das vigas. Ainda, devido a sua altura, também podem ocorrer problemas de instabilidade, sobretudo se perturbadas por cargas concentradas em seu vão. Nesta condição, a chamada hipótese de Navier-Bernoulli de seção plana após a deformação não mais é válida para o dimensionamento das armaduras para este elemento estrutural, é necessária uma nova proposta de modelo de cálculo para a verificação dos esforços e dimensionamento desses elementos. Este trabalho propõe apresentar uma pasta de trabalho composta por planilhas com roteiros de cálculo para a verificação dos esforços e dimensionamento de vigas-parede. A pasta de trabalho conta com uma planilha de interface que interage com o usuário que fornece os diagramas e desenhos integrados. No presente trabalho são apresentadas as rotinas de cálculo assumidas para o dimensionamento e as condições para que os resultados sejam confiáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto armado. Viga parede. Planilha eletrônica.

ABSTRACT

According to ABNT NBR 6118:2014, reinforced concrete beams are classified as wall-beams once the ratio of the span “L” over height “h” is lower than two for supported beams and lower than three for continuous beams. It is known that when this occurs, the structural behavior of the wall-beam is not the same of usual beams in terms of bending and shear forces as its span value is proportionally low compared to the height of its cross-section, which makes it impossible for the beam to bend like an arch, thus, the absorption of forces occurs differently from the beam’s classic theory. Moreover, because of its height, instability problems may also occur, especially if it is disturbed by concentrated loads over the span. Under this condition, the Navier-Bernoulli hypothesis that the plane cross-sections remain planar and normal to the rod axis after bending can no longer be used for the sizing of the reinforcement of this structural element, and a new model is necessary to determine the efforts and sizing of these elements. This paper’s objective is to present a workbook that contains worksheets with the calculation routine to verify the efforts and sizing of wall-beams. The workbook contains a worksheet interface that displays the diagrams and details necessary to design wall-beams. On this paper are presented the calculations used for sizing wall-beams and the conditions that must be met to ensure the reliability of the results.

KEYWORDS: Reinforced concrete. Wall beams. Spreadsheet.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tensões na seção média da viga-parede carregada com variação não linear.	14
Figura 2 – Modelo estrutural de biela-tirante para vigas parede	17
Figura 3 – Diagrama da viga parede: (a) carregamentos distribuídos superior e inferior P_{k1} e P_{k2} e armadura do banzo tracionado A_{st} , (b) diagrama dos esforços internos da viga parede.	18
Figura 4 – Curva de regressão para o cálculo de λ em função de ℓ/h	21
Figura 5 – Ancoragem da armadura longitudinal no concreto	25
Figura 6 – Regiões de boa e má aderência no perfil da viga.....	26
Figura 7 – Entrada de dados: (a) esquema da viga parede com informações integradas com (b) as células de entrada	29
Figura 8 – Definição das condições de apoio: (a) esquema dos apoios com indicação da seleção, (b) seleção do tipo de apoio através de lista suspensa e verificação positiva do critério, (c) verificação negativa do critério.	31
Figura 9 – Dados da viga parede	33
Figura 10 – Parâmetros para o cálculo da armadura do banzo tracionado	33
Figura 11 – Cálculo de armadura mínima: (a) parâmetros e resultados, (b) tabela e processo de cálculo do coeficiente de ponderação λ	34
Figura 12 – Dimensionamento da armadura longitudinal: (a) parâmetros calculados, (b) tabela de cálculo.....	35
Figura 13 – Dimensionamento da armadura de pele: (a) parâmetros calculados; (b) tabela de cálculo.....	37
Figura 14 – Dimensionamento da armadura de suspensão: (a) parâmetros calculados; (b) tabela de cálculo	38
Figura 15 – Verificação das tensões nos apoios por MONTOYA (2010), FUSCO (1981) e ABNT NBR 6118:2014 e ARAÚJO (2014).	39
Figura 16 – Cálculo da ancoragem das barras.....	40
Figura 17 – Resultados da planilha: (a) com detalhamento; (b) em áreas.....	41
Figura 18 – Detalhamento da viga parede	42
Figura 19 – Interface da planilha (a) ao inserir os dados do Estudo de Caso I na região dos dados com a verificação das tensões nos apoios, o (b) esquema da viga, e (c) a verificação do atendimento ao critério de viga-parede ao inserir o tipo de apoio.....	44
Figura 20 – Saída dos resultados do Estudo de Caso I pela planilha na seleção (a) “Em Áreas” e (b) “Em Detalhamento”, a partir do qual é feito (c) o detalhamento das armaduras.....	46

Figura 21 – Interface da planilha (a) ao inserir os dados do Estudo de Caso II na região dos dados com a verificação das tensões nos apoios, o (b) esquema da viga, e (c) a verificação do atendimento ao critério de viga-parede ao inserir o tipo de apoio.....48

Figura 22 – Saída dos resultados do Estudo de Caso II pela planilha na seleção (a) “Em Áreas” e (b) “Em Detalhamento”, a partir do qual é feito (c) o detalhamento das armaduras. 50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relações ℓ/h para classificação como viga-parede em função das condições de apoio.....	16
Tabela 2 – Valores do coeficiente λ de acordo com ℓ/h	20
Tabela 3 – Valores de ρ_{\min} em função de f_{ck} do concreto.....	22
Tabela 4 - Raio de curvatura para o gancho de ancoragem.....	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira

LISTA DE SÍMBOLOS

a_w	largura do apoio
A_c	área de concreto
$A_{s\ell}$	área da armadura longitudinal de tração
$A_{s,minVP}$	área mínima de armadura longitudinal para vigas-parede;
$A_{s,minVE}$	área mínima de armadura longitudinal para vigas esbeltas;
A_{ss}	área da armadura de suspensão
A_{s2}	área da armadura de pele
$A_{s,cal}$	área da armadura calculada
b_w	largura da viga parede;
c	extensão do apoio;
d'	altura de distribuição da armadura longitudinal de tração
f_{cd}	resistência a compressão de cálculo do concreto.
f_{yd}	tensão de escoamento de cálculo do aço
\hat{f}_{bd}	resistência à tensão de aderência de cálculo do concreto
h	altura da viga
h_e	altura efetiva da viga
ℓ	comprimento teórico ou efetivo da viga
ℓ_b	comprimento de ancoragem básico
M_d	momento fletor de cálculo
P_{k1}	carregamento superior
P_{k2}	carregamento inferior
pp	peso próprio da viga
q_k	carga acidental característica
R_d	reação de cálculo no apoio
R_{sd}	resultante de tração de cálculo
Z	braço de alavanca formado pelas resultantes de tração e compressão na seção transversal
	altura da treliça
α_v	coeficiente de ponderação da resistência de compressão do concreto no apoio
γ_c	coeficiente de ponderação da resistência do concreto
γ_f	coeficiente de ponderação das ações
λ	coeficiente de ponderação de taxa de armadura
ρ_{min}	taxa de armadura mínima.
ρ_c	peso próprio do concreto armado
σ_d	tensão de compressão de cálculo do concreto
τ_d	tensão de cisalhamento de cálculo
η_1, η_1, η_1	coeficientes para cálculo da tensão de aderência da armadura passiva

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	DESENVOLVIMENTO	16
2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	16
2.2	VERIFICAÇÕES DAS RESISTÊNCIAS À RUPTURA	18
2.2.1	Cálculo da armadura do banzo tracionado	18
2.2.2	Cálculo da armadura de pele	22
2.2.3	Cálculo da Armadura de Suspensão	23
2.2.4	Verificação das tensões nos apoios	23
2.2.5	Ancoragem da armadura principal	24
3	METODOLOGIA	28
3.1	ENTRADA	28
3.1.1	Definição dos dados iniciais	28
3.2	ROTINA DE CÁLCULO	32
3.2.1	Armadura longitudinal	32
3.2.1.1	Descrição	32
3.2.1.2	Armadura do banzo tracionado.....	33
3.2.2	Cálculo da armadura de pele	36
3.2.3	Cálculo da armadura de suspensão	38
3.2.4	Verificação das tensões nos apoios	39
3.2.5	Cálculo da ancoragem das barras	40
3.3	RESULTADOS	41
4	ESTUDOS DE CASO	43
4.1	ESTUDO DE CASO I	43
4.2	ESTUDO DE CASO II.....	47
5	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS	53
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	54

1 INTRODUÇÃO

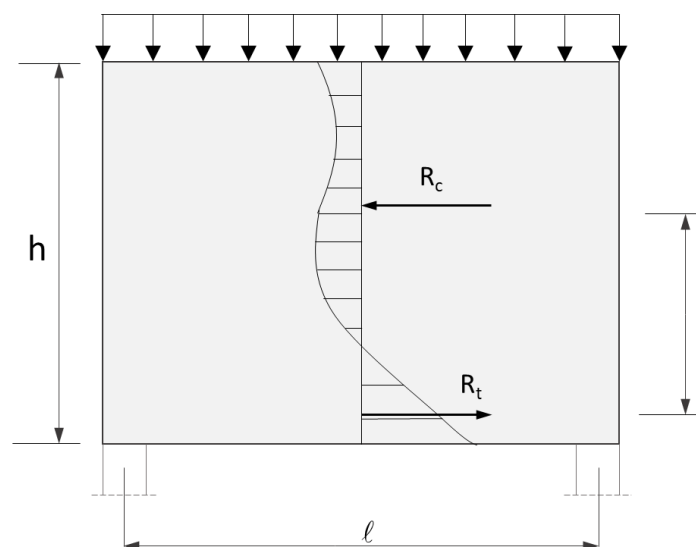
Entre outras rotinas de dimensionamento de elementos estruturais de concreto armado, um dos modelos estruturais comumente utilizados é o de chapa, que consiste em uma estrutura plana de faces ortogonais com duas dimensões muito maiores que a terceira e que recebem solicitação em seu próprio plano. Segundo ARAÚJO (2014), quando as chapas são apoiadas de forma descontínua como as vigas, são denominadas viga-parede.

As vigas-paredes são encontradas normalmente em reservatórios nos altos dos edifícios ou no subsolo, atuando sob as mesmas condições de apoio. Nesses casos, as vigas-parede também atuam como placas devido à solicitação normal seu plano. Também são comumente empregadas como elementos arquitetônicos em fachadas de edifícios.

A classificação de uma viga como viga-parede é baseada na relação entre o comprimento e a altura da viga, l/h .

Observa-se que quanto menor é o valor da relação, mais as tensões e deformações na estrutura se afastam do comportamento regido pela hipótese de Navier-Bernoulli (Figura 1) que é suposto para o cálculo de vigas usuais, no qual as tensões em torno da linha neutra são proporcionais e as seções transversais permanecem planas após a deformação.

Figura 1 – Tensões na seção média da viga-parede carregada com variação não linear.



Fonte: Autor

A ABNT NBR 6118:2014 permite que o cálculo e dimensionamento das vigas-parede seja realizado utilizando-se modelos planos elásticos ou não lineares e modelos biela-tirante. Esse trabalho explora o uso do modelo biela-tirante.

A ABNT NBR 6118:2014, considera que as vigas-parede tem comportamento estrutural ineficiente se comparada às vigas usuais, seja à flexão ou ao cisalhamento, e por serem altas apresentam problemas de estabilidade como corpo rígido e de estabilidade elástica muitas vezes exigindo enrijecedores nos apoios.

Por conta disso, segundo ARAÚJO (2014), o ponto de aplicação de esforços tem grande influência sobre o comportamento da viga e o carregamento superior deve ser distinguido do inferior para o dimensionamento das armaduras.

Os demais esforços solicitantes são calculados da mesma maneira que para vigas comuns.


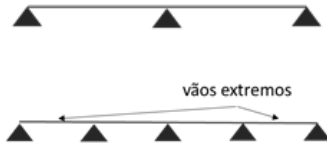

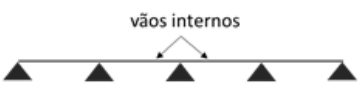
Deve-se, no entanto, atentar-se especialmente nos recalques em apoios de vigas hiperestáticas, pois podem influir significativamente sobre o comportamento de vigas-parede em virtude de sua grande rigidez.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A classificação de uma viga em viga-parede é baseada na relação de l/h , onde “ l ” é o comprimento teórico ou efetivo da viga e “ h ” é a altura da viga, variando de acordo com as condições de apoio conforme o esquema estrutural como vê-se na Figura 1:

Tabela 1 – Relações l/h para classificação como viga-parede em função das condições de apoio

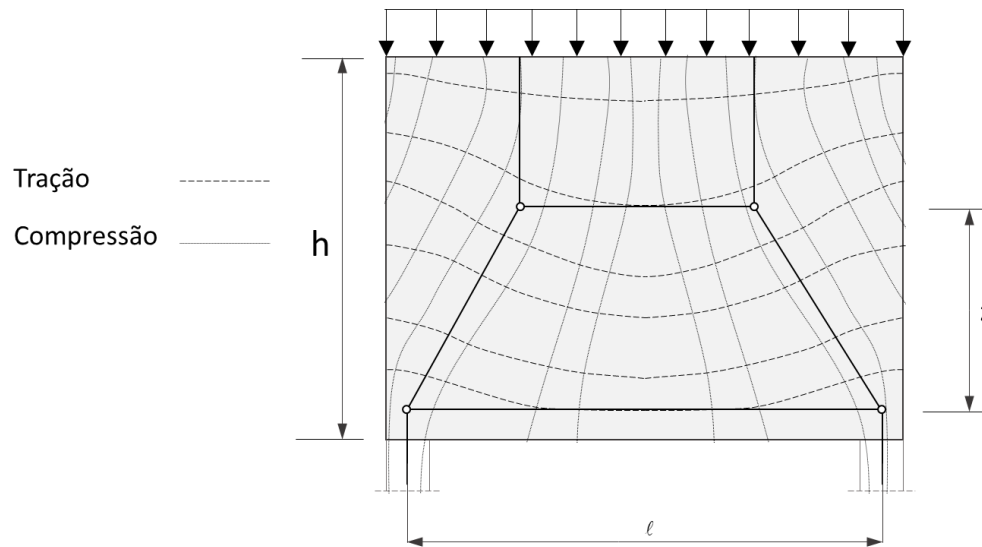
Condições de apoio	Esquema estrutural	Relação l/h
Vigas biapoiadas		$l/h < 2,0$
Vigas de vãos extremos		$l/h < 2,5$
Consolos ou balanços		$l/h < 1,0$
Vãos intermediários de vigas contínuas		$l/h < 3,0$

Fonte: Autor

O modelo estrutural adotado neste trabalho para a verificação dos esforços da viga-parede é o de *biela-tirante*, no qual se supõe que os esforços internos apresentam uma distribuição análoga ao de uma treliça, onde no banzo superior está posicionada a resultante de compressão, no banzo inferior está posicionado a resultante de tração, e as diagonais na região crítica de transferência de carga aos apoios, conforme figura.

Esta maneira de se modelar o comportamento da viga-parede pode ser observada na Figura 2.

Figura 2 – Modelo estrutural de biela-tirante para vigas parede



Fonte: Autor

A altura efetiva da viga “ h_e ” é considerada como o maior valor entre a altura “ h ” da viga e o comprimento “ l ” do vão, ou seja,

$$h_e \leq \begin{cases} h \\ l \end{cases} \quad (1)$$

Segundo ARAÚJO (2014), ensaios de ruptura de vigas-parede demonstraram quatro principais formas de ruptura da viga.

São elas:

- O escoamento da armadura longitudinal no banzo tracionado;
- A ruptura da ancoragem da armadura longitudinal no banzo tracionado;
- A ruptura por esmagamento da diagonal comprimida e
- A ruptura devido à falta de armadura de suspensão para cargas inferiores.

A partir de cada tipo principal de ruptura, são feitas as verificações das respectivas resistências da viga-parede.

2.2 VERIFICAÇÕES DAS RESISTÊNCIAS À RUPTURA

2.2.1 Cálculo da armadura do banzo tracionado

A área da armadura longitudinal de tração A_{st} (Figura 3-a) é calculada através da expressão:

$$A_{sl} = \frac{M_d}{Z f_{yd}}, \quad (2)$$

onde

M_d é o momento fletor de cálculo, obtido a partir das solicitações P_{k1} , P_{k2} e peso próprio (pp) da viga,

Z é o braço de alavanca formado pelas resultantes de tração e compressão na seção transversal (Figura 3-b) e

f_{yd} é a tensão de escoamento de cálculo do aço.

Figura 3 – Diagrama da viga parede: (a) carregamentos distribuídos superior e inferior P_{k1} e P_{k2} e armadura do banzo tracionado A_{st} , (b) diagrama dos esforços internos da viga parede.

(continua)

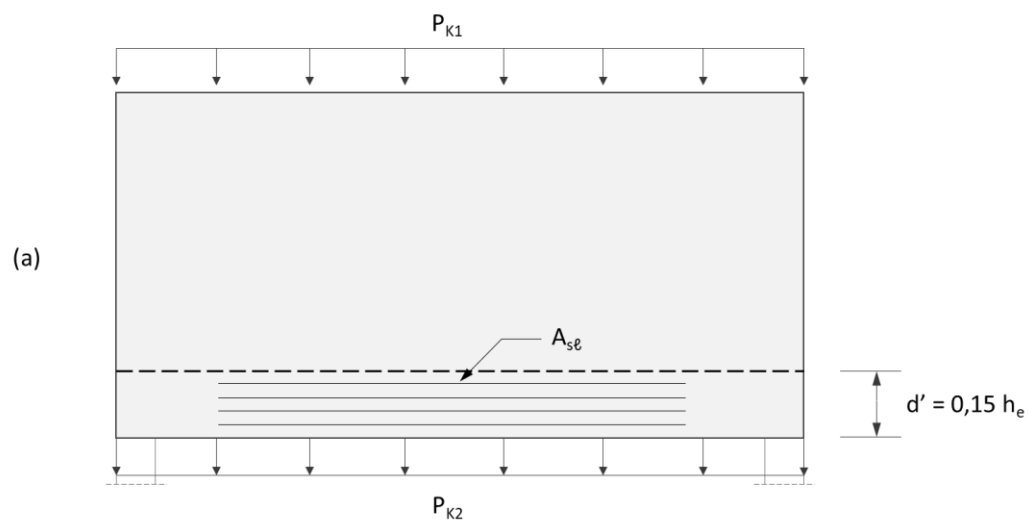
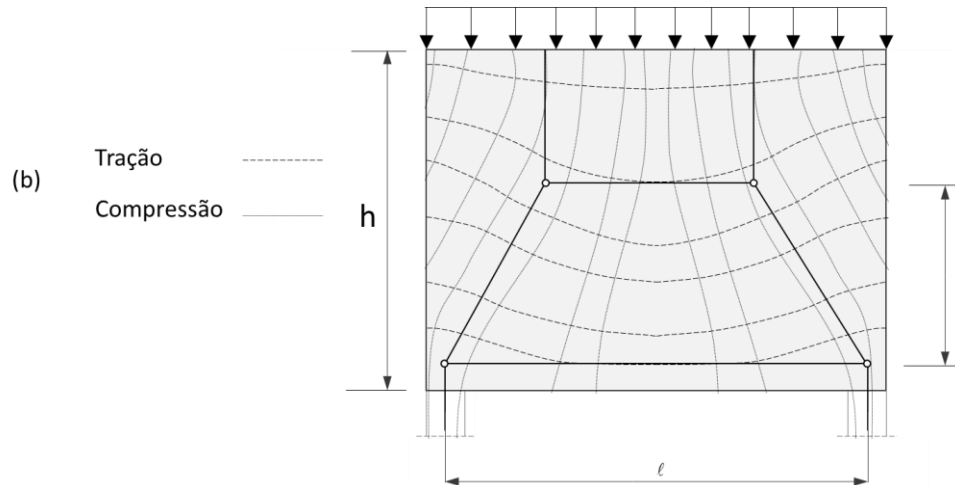


Figura 3 – Diagrama da viga parede: (a) carregamentos distribuídos superior e inferior P_{k1} e P_{k2} e armadura do banzo tracionado A_{st} , (b) diagrama dos esforços internos da viga parede.
(conclusão)



Fonte: Autor

O cálculo do braço de alavanca Z varia, segundo ARAÚJO (2014), conforme as condições de apoio do problema (Figura 3):

a) Viga-parede biapoiada

$$Z = 0,15h(3,0 + l/h) \quad \text{se } 1,0 < l/h < 2,0 \quad (3)$$

e

$$Z = 0,60 \ell \quad \text{para } l/h \leq 1,0. \quad (4)$$

b) Viga-parede de dois vãos

$$Z = 0,10 h (2,5 + 2 \ell/h) \quad \text{se } 1,0 < l/h < 2,5 \quad (5)$$

e

$$Z = 0,45 \ell \quad \text{para } l/h \leq 1,0. \quad (6)$$

c) Viga-parede com mais de dois vãos

Para os vãos extremos e para os primeiros apoios intermediários adotam-se as equações anteriores. Para os demais vãos adota-se:

$$Z = 0,15 h (2 + \ell/h) \quad \text{para } 1,0 < \ell/h < 3,0 \quad (7)$$

e

$$Z = 0,45 \ell \quad \text{para } \ell/h \leq 1,0 . \quad (8)$$

O momento de fissuração de vigas-parede é menor que para vigas esbeltas e é dado pela equação conforme define ARAÚJO (2014) por

$$A_{s, \min VP} = \lambda A_{s, \min VE} , \quad (9)$$

onde

$A_{s, \min VP}$ é a armadura mínima para vigas-parede;

$A_{s, \min VE}$ é a armadura mínima para vigas esbeltas e

λ é o coeficiente obtido de acordo com a relação ℓ/h , conforme vê-se na Tabela 2:

Tabela 2 – Valores do coeficiente λ de acordo com ℓ/h

ℓ/h	λ
2,00	1,00
1,50	0,90
1,25	0,75
1,00	0,55

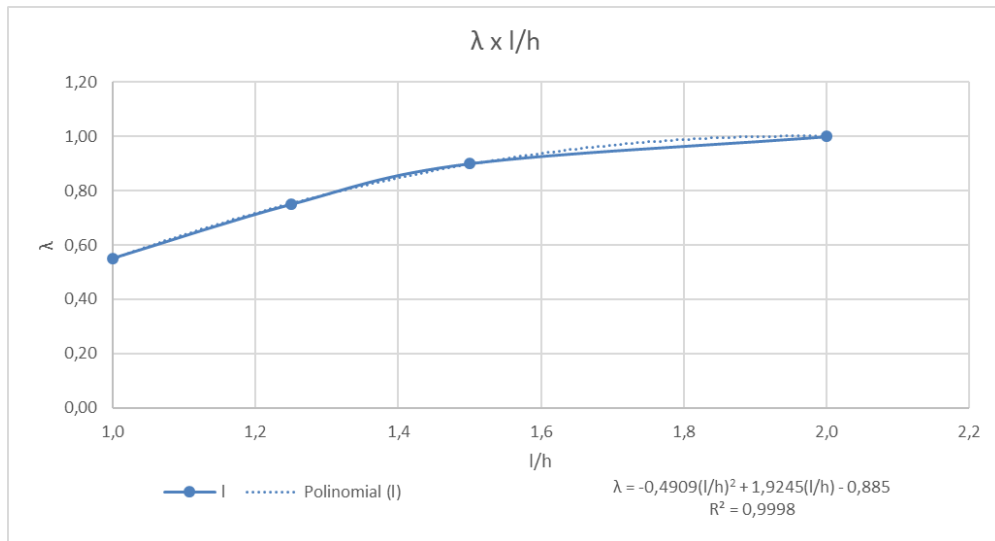
Fonte: Araújo (2014).

Para a determinação dos valores do coeficiente λ para quando a relação ℓ/h estiver nos

intervalos da tabela, pode-se aplicar a regressão polinomial de grau dois e coeficiente de determinação $R^2 = 0,9998$, conforme curva da Figura 4, dada pela equação 10

$$\lambda = -0,4909 \left(\frac{\ell}{h}\right)^2 + 1,9245 \left(\frac{\ell}{h}\right) - 0,885 . \quad \text{para } \lambda \leq 1,0. \quad (10)$$

Figura 4 – Curva de regressão para o cálculo de λ em função de ℓ/h



Fonte: Autor

A armadura mínima para vigas esbeltas é dada pela equação 11,

$$A_{s,\text{mínVE}} = \rho_{\text{mín}} A_c , \quad (11)$$

onde

A_c é a área de concreto e

$\rho_{\text{mín}}$ é a taxa de armadura mínima.

A taxa de armadura mínima é dada pela Tabela 3, onde $\rho_{\text{mín}}$ é função da resistência característica do concreto f_{ck} e da forma da seção, adotada como retangular

Tabela 3 – Valores de ρ_{\min} em função de f_{ck} do concreto

Forma da seção	Valores de ρ_{\min} ($A_{s,\min}/A_c$) %														
	20	25	20	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Retangular	0,150	0,150	0,150	0,164	0,179	0,194	0,208	0,211	0,219	0,226	0,233	0,239	0,245	0,251	0,256

Os valores de ρ_{\min} estabelecidos nesta tabela pressupõem o uso de aço CA-50 e $\gamma_c = 1,40$ e $\gamma_s = 1,15$.
Caso esses fatores sejam diferentes, ρ_{\min} deve ser recalculado com base no valor ω_{\min} dado.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

A partir do maior valor entre $A_{s,\min VP}$ e A_{st} distribui-se a armadura longitudinal de tração na altura d' equivalente a $0,15 h_e$ (Figura 3-a).

Para o cálculo da quantidade de barras pela planilha, apresenta-se a possibilidade de admitir-se um desvio aceitável na área de armadura, de 0, 3,0% ou 5,0%, para que o arredondamento do número de barras possa ser controlado pelo usuário nos casos em que a quantidade de barras seja um número inteiro muito próximo do limite inferior e a adoção do número de barras pelo próximo número inteiro superior (o que geralmente ocorre) não seja interessante. Busca-se, assim, evitar que o simples arredondamento para cima seja excessivo.

O cálculo é feito adotando-se, inicialmente, a quantidade de barras e desconsiderando-se os decimais a partir de $A_{s,\min VP}$. A área equivalente ao novo número de barras é aumentada em 5,0% ou 3,0%, e caso o valor atingido seja maior que $A_{s,\min VP}$, esse é o novo número de barras adotado, caso contrário, soma-se um à essa quantidade de barras.

2.2.2 Cálculo da armadura de pele

A área da armadura de pele A_{s2} é dada pela equação 12 em área por metro, calculada for face em cada direção (vertical e horizontal).

$$A_{s2} = \frac{0,10}{100} b h/\text{face}. \quad (12)$$

Para a determinação do número de barras a partir da unidade de comprimento, geralmente por metro, obtém-se inicialmente a quantidade de barras por metro a partir de A_{s2} e com as dimensões da peça é possível determinar o espaçamento e a quantidade de barras. Como a

quantidade varia com a dimensão considerada, seja pela altura e pelo comprimento da peça, obtém-se assim, duas especificações de armadura, na direção vertical e na horizontal.

2.2.3 Cálculo da Armadura de Suspensão

Caso existam cargas na face inferior da viga, isto é, se o carregamento P_{k2} seja diferente de zero, é necessário adicionar a armadura de suspensão para resistir às tensões solicitantes desse tipo de carregamento.

Nesses casos, a área da armadura de suspensão é adicionada à área da armadura de pele vertical, A_{s2V} .

A área da armadura de suspensão A_{ss} é dada pela equação 13, ou seja:

$$A_{ss} = \frac{\gamma_f P_{k2}}{f_{yd}}. \quad (13)$$

A área é obtida por unidade de área por comprimento, geralmente dada em cm^2/m , que é dividida nas duas faces e calculada da mesma maneira feita para a armadura de pele.

2.2.4 Verificação das tensões nos apoios

Segundo MONTROYA (2010), para a verificação da tensão nos apoios σ_d é suficiente comprovar que é mais desfavorável que a tensão na biela.

Assim, verifica-se

$$\sigma_d = \frac{R_d}{b_w c} \leq 0,70 f_{cd}, \quad (14)$$

onde

R_d é a reação de cálculo no apoio;

b_w é a largura da viga parede;

c é a extensão do apoio e

f_{cd} é a resistência a compressão de cálculo do concreto.

Para FUSCO (1981), a verificação deve ser mais conservativa:

$$\sigma_d \leq 0,60 f_{cd} \quad (15)$$

ou

$$\tau_d = \frac{R_d}{b_w h_e} \leq 0,20 f_{cd} \cdot \quad (16)$$

Para ARAÚJO (2014) e para a NBR 6118:2014, a verificação é feita a partir da equação 17, tomando-se a condição mais conservativa dentro as três:

$$\sigma_d = 0,60 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) f_{cd} = 0,60 \alpha_v f_{cd} \quad (17)$$

com o coeficiente α_v dado por

$$\alpha_v = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right), \quad (18)$$

com f_{ck} dado em MPa.

A planilha de cálculo informa o “aceite” ou não dos três critérios, cabendo ao usuário definir aceitá-la.

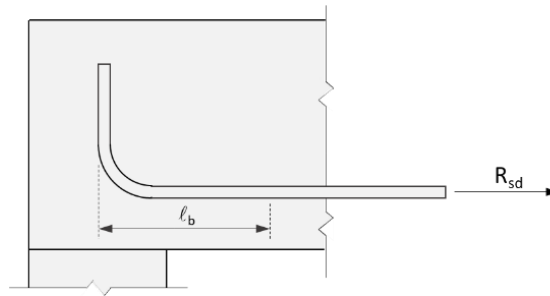
2.2.5 Ancoragem da armadura principal

Segundo ARAÚJO (2014), a armadura principal deve ser ancorada para resistir à resultante de cálculo dada por

$$R_{sd} = 0,8 A_{sl} f_{yd} \quad (19)$$

O comprimento de ancoragem ℓ_b é aquele no qual a barra deve estar imersa no volume de concreto para que, por aderência, não solte quando estiver sujeita ao esforço de tração R_{sd} .

Figura 5 – Ancoragem da armadura longitudinal no concreto



Fonte: Autor

O comprimento de ancoragem l_b é determinado considerando-se a resistência à tensão de aderência f_{bd} do concreto ao menos igual à tensão de escoamento do aço, obtendo-se, a partir disso, a equação 20:

$$l_b = \frac{\phi_l}{4} \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \quad (20)$$

onde

- ϕ_l é o diâmetro da armadura;
- f_{yd} é a tensão de escoamento de cálculo do aço da armadura e
- f_{bd} é a resistência de aderência de cálculo.

A ABNT NBR 6118:2014 define a resistência de aderência do concreto f_{bd} pela equação 21.

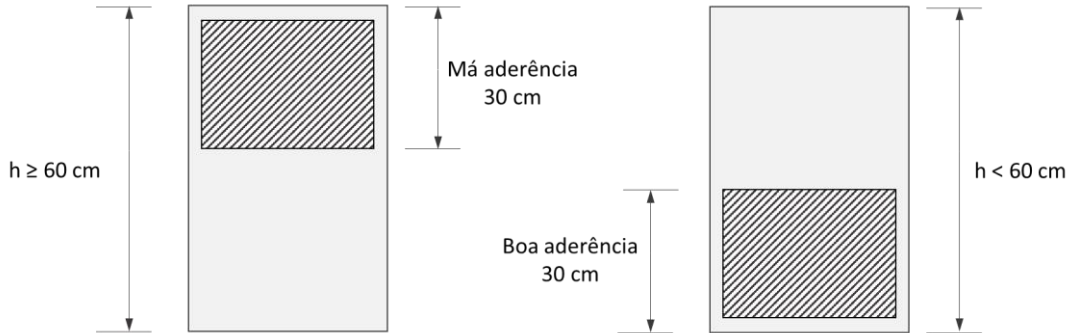
$$f_{bd} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 f_{ctd} \quad (21)$$

onde

- η_1 é um coeficiente igual a 1,00 para barras lisas;
- η_1 é um coeficiente igual a 1,40 para barras entalhadas;
- η_1 é um coeficiente igual a 2,25 para barras nervuradas;
- η_2 é um coeficiente igual a 1,00 para situações de boa aderência;
- η_2 é um coeficiente igual a 0,70 para situações de má aderência;
- η_3 é um coeficiente igual a 1,00 para $\phi_l \leq 32$ mm e
- η_3 é um coeficiente igual a $(132 - \phi_l) / 100$ para $\phi_l > 32$ mm.

As regiões de boa e má aderência são definidas de acordo com a Figura 6:

Figura 6 – Regiões de boa e má aderência no perfil da viga



Fonte: Autor

Uma vez obtido o comprimento de ancoragem básico ℓ_b , calcula-se o valor do comprimento de ancoragem necessário $\ell_{b,nec}$: a partir da equação 22 dada por:

$$\ell_{b,nec} = \alpha \ell_b \frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}} \geq \ell_{b,min} , \quad (22)$$

onde

- α é um coeficiente igual a 1,0 para barras sem gancho;
- α é um coeficiente igual a 0,7 para barras tracionadas com gancho, com cobrimento no plano normal ao gancho $\geq 3\phi$;
- α é um coeficiente igual a 0,7 quando houver barras tracionadas soldadas e
- α é um coeficiente igual a 0,5 quando houver barras tracionadas soldadas e gancho, com cobrimento no plano normal ao gancho $\geq 3\phi$.

onde $\ell_{b,min}$ é o maior valor entre $0,3 \ell_b$, 10ϕ e 100 mm .

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, nas vigas-parede não devem ser usados ganchos de ancoragem no plano vertical, dando-se preferência a laços ou grampos no plano horizontal, ou armaduras especiais.

Nesse trabalho adota-se o uso de ancoragem por gancho horizontal, com o valor do coeficiente “ α ” fixo em 0,7.

Adequando-se a ancoragem da armadura longitudinal aos limites do apoio, de largura “ c ” e do cobrimento, tem-se que

$$l_{b,final} = c - \text{cobrimento} \quad (23)$$

e que deve ser maior que o $l_{b,min}$ calculado.

O raio de dobra interno do gancho deve obedecer à Tabela 4:

Tabela 4 - Raio de curvatura para o gancho de ancoragem

Bitola (mm)	Tipo de aço		
	CA-25	CA-50	CA-60
< 20	4 ϕ	5 ϕ	6 ϕ
\geq 20	5 ϕ	8 ϕ	-

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

3 METODOLOGIA

O roteiro descrito para o cálculo e dimensionamento da viga parede é adaptado para a planilha eletrônica dividindo-o em três partes, a saber:

- ✓ a entrada dos dados básicos do problema,
- ✓ a rotina de cálculo e
- ✓ a saída de resultados.

O detalhamento da armadura é definido posteriormente com o auxílio do usuário.

3.1 ENTRADA

3.1.1 Definição dos dados iniciais

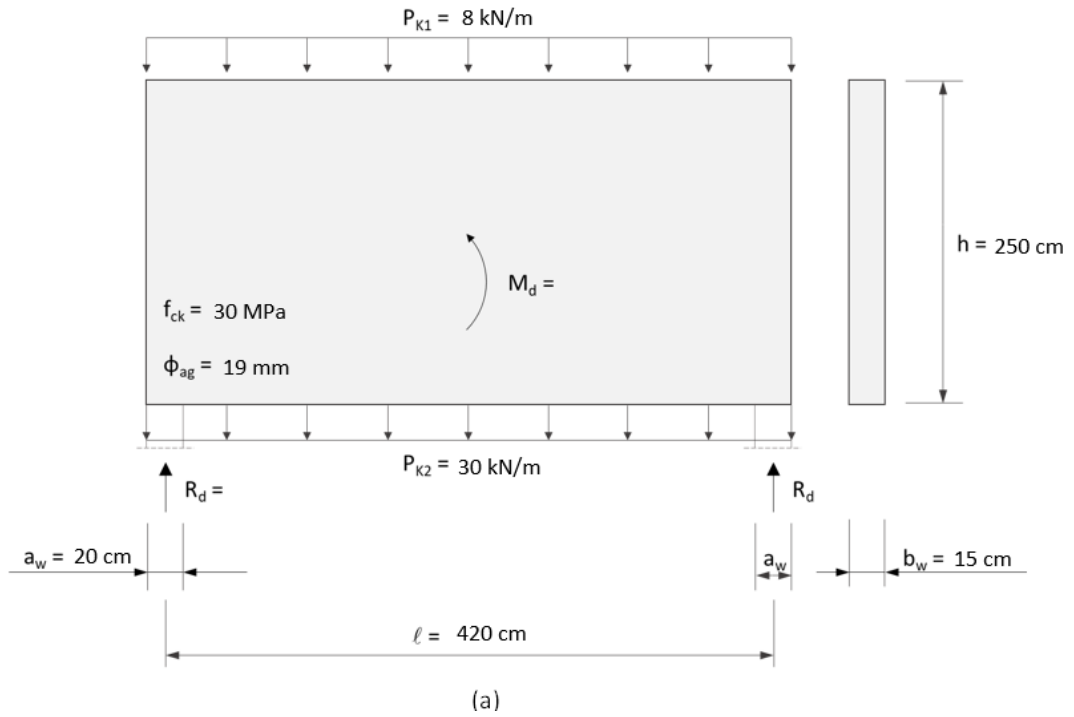
A esquerda da planilha, como mostra-se na Figura 7-a, encontra-se o esquema da viga parede cujas informações são atualizadas à medida em que as células são preenchidas coerentemente com os devidos dados pelo usuário e, desta forma, toma o aspecto conforme vê-se na Figura 7-b.

Figura 7 – Entrada de dados: (a) esquema da viga parede com informações integradas com (b) as células de entrada

CÁLCULO DE VIGA-PAREDE

DADOS DE ENTRADA

Viga parede:



DADOS INICIAIS

Materiais

$f_{ck} = 30$ MPa $f_{yd} = 43,5$ kN/cm²

Coefficientes Parciais

$\gamma_c = 1,4$ $\eta_1 = 2,25$
 $\gamma_f = 1,4$ $\eta_2 = 1,0$
 $\rho_c = 25$ kN/m³ $\eta_3 = 1,0$

Dimensões

$b_w = 15$ cm $l = 4,2$ m
 $h = 250$ cm $a_w = 20$ cm

Cargas / Esforços

$P_{K1} = 8,0$ kN/m $pp = 9,375$ kN/m
 $P_{K2} = 30,0$ kN/m $q_k = 47,4$ kN/m
 $M_d =$ kN.m
 $R_d =$ kN

Dimensionamento

$cobr = 2,5$ cm $arred = 3\%$
 $\phi_{ag} = 19,0$ mm

Tensão nos apoios

Verificação das tensões no apoio: Motoya

Nota:
 Formatação das células com preenchimento pelo usuário

OK

(b)

O preenchimento é feito seguindo-se os seguintes passos:

- 1) Definição do f_{ck} em MPa;
- 2) Definição das dimensões da viga e do apoio: b_w , h , l e a_w ;
- 3) Definição das cargas ou esforços.

O usuário pode optar por informar:

- ✓ P_{k1} e P_{k2} que, nesse caso, os valores de M_d e R_d são calculados pela planilha.
- ✓ P_{k1} , P_{k2} e R_d que nesse caso M_d é calculado pela planilha.
- ✓ P_{k2} , M_d , R_d , no qual P_{k2} é usado apenas para o cálculo da armadura de suspensão.
- ✓ Ou M_d , R_d , onde a planilha adota o valor de P_{k2} igual a zero.

Caso o usuário informe P_{k1} e M_d , a planilha informa o erro e informa o preenchimento de apenas um deles.

✓ *Definição básica do dimensionamento:*

São os dados referentes ao cobrimento, ao diâmetro do agregado graúdo e a tolerância no desvio da área para o dimensionamento da armadura longitudinal, feito por lista suspensa, onde o usuário pode optar por 5, 3 ou 0,0%.

✓ *Verificação das tensões no apoio:*

É dada ao usuário a opção por optar por qual critério deseja realizar a verificação, seja pelo critério da ABNT NBR 6118:2014 e ARAÚJO (2014), por FUSCO (1981) ou por MONTOYA (2010). O resultado aparece como “OK” (destacado em verde) ou “NOK” (destacado em vermelho) na célula ao lado, pois como as verificações são função apenas dos esforços e da resistência do concreto, facilita a alteração dos dados de entrada caso o resultado seja negativo.

Nesse trecho também são informados os coeficientes adotados pela planilha, que também podem ser alterados, quais sejam:

- ✓ O coeficiente de ponderação da resistência do concreto γ_c ;
- ✓ O coeficiente de ponderação das ações γ_f ;

- ✓ O valor referente do peso específico do concreto armado ρ_c e
- ✓ Os coeficientes para cálculo de tensão de aderência da armadura passiva η_1 , η_2 e η_3 .

A planilha faz automaticamente as avaliações:

- ✓ Do Peso próprio referenciado como “pp” e
- ✓ Da carga acidental característica referenciada por “q_k”.

Deve-se definir as condições de apoio e a verificação da classificação da viga parede:

- ✓ É definido qual é o tipo de apoio através de lista suspensa conforme a Figura 8-b com o auxílio do esquema da Figura 8-a, os tipos de apoio e a tabela com as condições para a viga ser considerada viga parede.

Figura 8 – Definição das condições de apoio: (a) esquema dos apoios com indicação da seleção, (b) seleção do tipo de apoio através de lista suspensa e verificação positiva do critério, (c) verificação negativa do critério.

(continua)

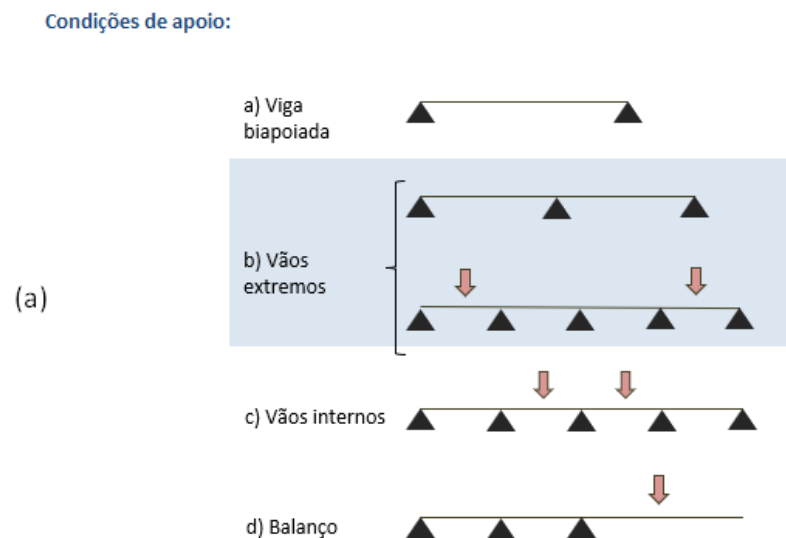
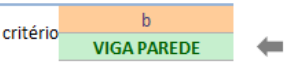


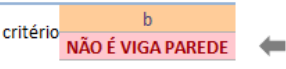
Figura 8 – Definição das condições de apoio: (a) esquema dos apoios com indicação da seleção, (b) seleção do tipo de apoio através de lista suspensa e verificação positiva do critério, (c) verificação negativa do critério.

(conclusão)

DEFINIÇÃO DOS APOIOS		DEFINIÇÃO DOS APOIOS	
CLASSIFICAÇÃO DA VIGA-PAREDE		CLASSIFICAÇÃO DA VIGA-PAREDE	
CRITÉRIOS	Condição	CRITÉRIOS	Condição
a) Vigas biapoiadas:	$\ell/h < 2,0$	a) Vigas biapoiadas:	$\ell/h < 2,0$
b) Vigas de dois vãos ou vãos extremos:	$\ell/h < 2,5$	b) Vigas de dois vãos ou vãos extremos:	$\ell/h < 2,5$
c) Vigas contínuas (vãos internos):	$\ell/h < 3,0$	c) Vigas contínuas (vãos internos):	$\ell/h < 3,0$
d) Consolos / vigas engastadas:	$\ell/h \leq 1,0$	d) Consolos / vigas engastadas:	$\ell/h \leq 1,0$



(b)



(c)

Fonte: Autor

Ao alterar o tipo do apoio, de “a” à “d”, o respectivo tipo é realçado no diagrama e na tabela, e na célula abaixo é informado o resultado da verificação em “VIGA PAREDE” (Figura 8-b) ou “NÃO É VIGA PAREDE” (Figura 8-c).

3.2 ROTINA DE CÁLCULO

A rotina de cálculo fica em uma planilha (aba) separada na mesma pasta de trabalho (arquivo).

3.2.1 Armadura longitudinal

O cálculo da armadura longitudinal é dividido em três partes:

3.2.1.1 Descrição

- ✓ Cálculo da altura efetiva h_e ;
- ✓ Vão teórico ou efetivo ℓ ;
- ✓ Altura da viga parede convertida em metros;

Figura 9 – Dados da viga parede

CÁLCULO - ARMADURA LONGITUDINAL

Descrição		
$h_e =$	2,5 m	altura efetiva da viga parede
$\ell =$	4,20 m	vão de cálculo
$h =$	2,50 m	altura da viga-parede

Fonte: Autor

3.2.1.2 Armadura do banzo tracionado

Figura 10 – Parâmetros para o cálculo da armadura do banzo tracionado

ARMADURA DO BANZO TRACIONADO

$M_k =$	104,5 kN.m	$f_{cd} =$	21,43 MPa
$M_d =$	146,2 kN.m		
Critério 1	Z =	1,76 m	Viga-parede biapoiada
Critério 2	Z =	1,47 m	Viga-parede de dois vãos
Critério 3	Z =	1,38 m	Viga-parede com mais de dois vãos
Critério 2	Z =	1,47 m	Definição de Z de acordo com o apoio
$A_s =$	2,29 cm ²		

Fonte: Autor

O momento característico M_k é determinado por:

$$M_k = \frac{q_k \ell^2}{8}, \quad (24)$$

onde

q_k é a carga característica atuante e
 ℓ é comprimento efetivo da viga-parede.

O momento de cálculo M_d é determinado multiplicando-se M_k por γ_f .

O braço de alavanca Z é obtido de acordo com as condições de apoio definidas pelo usuário.

3.2.1.3 Área de armadura mínima

A Figura 11 mostra a parte da planilha referente a área mínima estabelecida por condição normativa e a avaliação do coeficiente λ .

Figura 11 – Cálculo de armadura mínima: (a) parâmetros e resultados, (b) tabela e processo de cálculo do coeficiente de ponderação λ .

ARMADURA MÍNIMA PARA VIGAS PAREDE

$\rho_{\min}^{(a)}(\%) =$	0,150	taxa de armadura mínima armadura mínima de vigas esbeltas coeficiente
$A_{s, \min VE} =$	5,63 cm ²	
$\lambda =$	0,96	
$A_{s, \min VP} =$	5,41 cm ²	
$A_{s, adotado} =$	5,41 cm ²	

(a)

Forma da seção	Valores de $\rho_{\min(a)}(\%)$														
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
retangular	0,150	0,150	0,150	0,164	0,179	0,194	0,208	0,211	0,219	0,226	0,233	0,239	0,245	0,251	0,256

ℓ/h	λ	$\ell/h =$	1,68	$\lambda = -0,4909(\ell/h)^2 + 1,9245(\ell/h) - 0,885$ $R^2 = 0,9998$
2,0	1,00	$\lambda_{proj} =$	0,96	
1,5	0,90	Tabela para a definição do coeficiente λ de acordo com a relação ℓ/h		
1,25	0,75			
1,0	0,55			

(b)

Fonte: Autor

- ✓ A taxa mínima da armadura $\rho_{\min}(\%)$ é extraída da tabela da ABNT NBR 6118:2014 em função da resistência característica f_{ck} . A tabela da norma também é função do tipo de seção transversal, considerada única na planilha e de seção retangular.
- ✓ É determinada na planilha a área de armadura mínima para vigas parede $A_{s, \min VE}$;
- ✓ É determinada na planilha o coeficiente de ponderação λ para armadura mínima de vigas parede a partir de $A_{s, \min VE}$. Seu valor é função de ℓ/h , com limites definidos pela tabela extraída da ABNT NBR 6118:2014. Para seu cálculo, utiliza-se a equação 10, obtida a partir de uma regressão polinomial calculada pela própria planilha, como vê-se na

Figura 4.

- ✓ É determinada na planilha a área da armadura mínima para vigas parede $A_{s,minVP}$ obtida através do produto entre $A_{s,minVE}$ e λ e
- ✓ É determinada na planilha a área da armadura $A_{s,adotado}$ assumida sendo o maior valor entre $A_{s,minVP}$ e $A_{s\ell}$.

3.2.1.4 Dimensionamento da armadura longitudinal

A planilha permite que o usuário escolha entre obter as áreas calculadas diretamente e o detalhamento, realizado através do processo de cálculo a seguir:

Figura 12 – Dimensionamento da armadura longitudinal: (a) parâmetros calculados, (b) tabela de cálculo.

(continua)

DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA LONGITUDINAL

Adoção bitola	6,35 mm	
nº de barras 5%	17 barras	
nº de barras 3%	17 barras	
nº de barras 3%	18 barras	
nº de barras final	17 barras	
$A_{s1} =$	5,38	
$1,2 * \phi_{ag} =$	2,3 cm	
$2 =$	2,0 cm	
$\phi_L =$	0,6 cm	
$S_{min} =$	2,3 cm	
nº de camadas =	9 cm	
altura =	27 cm	
limite de altura =	38 cm	OK

(a)

Figura 12 – Dimensionamento da armadura longitudinal: (a) parâmetros calculados, (b) tabela de cálculo.

(conclusão)

Diâmetro "	Diâmetro (mm)	Área (cm ²)	área em barras	nº bar baixo	Área nº bar baixo	5%	3%	0%	nbar 5%	nbar 3%	nbar 0%	
φ	1/4	6,35	0,32	17,10	17	5,38	5,65	5,55	5,38	17	17	18
φ	3/8	9,53	0,71	7,60	7	4,99	5,24	5,14	4,99	8	8	8
φ	1/2	12,70	1,27	4,27	4	5,07	5,32	5,22	5,07	5	5	5
φ	5/8	15,88	1,98	2,74	2	3,96	4,16	4,08	3,96	3	3	3
φ	3/4	19,05	2,85	1,90	1	2,85	2,99	2,94	2,85	2	2	2
φ	7/8	22,23	3,88	1,40	1	3,88	4,07	4,00	3,88	2	2	2
φ	1	25,40	5,07	1,07	1	5,07	5,32	5,22	5,07	2	2	2

(b)

Fonte: Autor

A tabela da Figura 12-b estabelece a quantidade de barras necessárias para diversas bitolas comerciais de aço, de diâmetro de 6,35 mm até 25,4 mm, com tolerância de 0, 3,0% e 5,0% de área de armadura.

A quantidade de barras para a bitola de aço correspondente é retirada pela planilha na tabela.

É determinada pela planilha a área da armadura A_{st} correspondendo a nova área de armadura longitudinal.

É determinada pela planilha o espaçamento mínimo correspondente ao maior valor entre 1,2 vezes o diâmetro do agregado, 2,0 cm e o diâmetro da armadura, com o diâmetro do agregado e o diâmetro da armadura definidos pelo usuário nos dados de entrada.

Adotando-se o espaçamento mínimo, é verificado se a quantidade de barras da armadura longitudinal se adequa a duas barras por camada no trecho inferior em 15% da altura efetiva da viga parede.

A verificação é expressa em “OK” e “NOK” (Figura 12-a), informação também levada para a planilha de interface com o usuário.

3.2.2 Cálculo da armadura de pele

A armadura de pele necessária para a viga-parede é fornecida pela planilha como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Dimensionamento da armadura de pele: (a) parâmetros calculados; (b) tabela de cálculo.

DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DE PELE

$A_{s2} =$	1,5 cm²/m
$A_{s2V} = A_{s2H} =$	1,5 cm²/m
<hr/>	
Adoção bitola	6,35 mm
<hr/>	
nº de barras _{horiz} =	13 barras
$S_v =$	19,2 cm
$A_{s2H,final} =$	1,65 cm²/m
nº de barras _{vertic} =	21 barras
$S_h =$	20,0 cm

(a)

	Diâmetro (")	Diâmetro (mm)	Área (cm ²)	barras/ m	espaçam/o (cm)	S max	espaçam/o final (cm)	nº de bar h	nº de sv	nº de bar v	sh	A_{s2h} (cm ² /m)
φ	1/5	5,08	0,20	7,40	13,5	20,0	13,5	19	13,2	32	13,1	1,54
φ	1/4	6,35	0,32	4,74	21,1	20,0	20,0	13	19,2	21	20,0	1,65
φ	3/8	9,53	0,71	2,11	47,5	20,0	20,0	13	19,2	21	20,0	3,71
φ	1/2	12,70	1,27	1,18	84,5	20,0	20,0	13	19,2	21	20,0	6,59
φ	5/8	15,88	1,98	0,76	132,0	20,0	20,0	13	19,2	21	20,0	10,29
φ	3/4	19,05	2,85	0,53	190,0	20,0	20,0	13	19,2	21	20,0	14,82
φ	7/8	22,23	3,88	0,39	258,6	20,0	20,0	13	19,2	21	20,0	20,17
φ	1	25,40	5,07	0,30	337,8	20,0	20,0	13	19,2	21	20,0	26,35

(b)

Fonte: Autor

A planilha fornece:

- ✓ As armaduras A_{s2V} e A_{s2H} respectivamente a armadura de pele na direção horizontal e vertical, adotada como 10% da largura da viga.
- ✓ O número de barras através da tabela de cálculo e espaçamento S_v para a armadura de pele horizontal, a partir da altura da viga.
- ✓ O número de barras através da tabela de cálculo e espaçamento S_h para a armadura de pele vertical, a partir do comprimento da viga. Esse é o valor adotado pela planilha quando o carregamento inferior P_{k2} for nulo.

3.2.3 Cálculo da armadura de suspensão

A armadura de suspensão necessária para a viga-parede é fornecida pela planilha como mostra a Figura 14.

Figura 14 – Dimensionamento da armadura de suspensão: (a) parâmetros calculados; (b) tabela de cálculo

DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DE SUSPENSÃO

$A_{ss} =$	0,97 cm²/m
$A_{ss}/\text{face} =$	0,48 cm²/m
$A_{s2V \text{ final}} =$	1,98 cm²/m
Adoção bitola	5,08 mm
nº de barras _{horiz} =	42 barras
S _{vertical} =	10 cm
$A_{s2V, \text{ final}} =$	2,03 cm²/m

(a)

	Diâmetro (")	Diâmetro (mm)	Área (cm ²)	nº de barras/m	espaçam/o (cm)	S _{max}	espaçam/o final (cm)	nº de bar v	sh	A_{s2v} (cm ² /m)
φ	1/5	5,08	0,20	9,78	10,22	20,0	10,2	42	10,0	2,03
φ	1/4	6,35	0,32	6,26	15,97	20,0	16,0	27	15,6	2,04
φ	3/8	9,53	0,71	2,78	35,94	20,0	20,0	21	20,0	3,56
φ	1/2	12,70	1,27	1,57	63,89	20,0	20,0	21	20,0	6,33
φ	5/8	15,88	1,98	1,00	99,83	20,0	20,0	21	20,0	9,90
φ	3/4	19,05	2,85	0,70	143,75	20,0	20,0	21	20,0	14,25
φ	7/8	22,23	3,88	0,51	195,66	20,0	20,0	21	20,0	19,40
φ	1	25,40	5,07	0,39	255,56	20,0	20,0	21	20,0	25,34

(b)

Fonte: Autor

A planilha fornece:

- ✓ A área de armadura de suspensão por metro A_{ss} ;
- ✓ A área de armadura por metro A_{ss} dividido nas duas faces da viga A_{ss}/face e

- ✓ A área $A_{s2vfinal}$ dada pela soma das armaduras $A_{ss}/face$ e A_{s2v} .

Encontra-se na tabela de cálculo encontra a quantidade de barras para a bitola adotada, o novo espaçamento e a nova área de armadura de pele.

3.2.4 Verificação das tensões nos apoios

A planilha faz as devidas verificações das tensões nos apoios de acordo com os critérios estabelecidos por MONTOYA (2010), por FUSCO (1981) e pela ABNT NBR 6118:2014 / ARAÚJO (2014), como mostra a Figura 15.

Figura 15 – Verificação das tensões nos apoios por MONTOYA (2010), FUSCO (1981) e ABNT NBR 6118:2014 e ARAÚJO (2014).

VERIFICAÇÃO DA TENSÃO NOS APOIOS						
	$R_k =$	99,49 kN				
	$R_d =$	139,28 kN				
MONTOYA						
Condição:	OK	$\sigma =$	0,464	\leq	$0,70 f_{cd} =$	1,50 kN/cm ²
FUSCO						
Condição:	OK	$\sigma =$	0,464	\leq	$0,60 f_{cd} =$	1,29 kN/cm ²
Condição:	OK	$\tau_{wd} =$	0,037	\leq	$0,20 f_{cd} =$	0,43 kN/cm ²
NBR 6118 e ARAÚJO						
Condição:	OK	$\alpha_v = (1 - f_{ck} / 250) =$	0,88			
		$\sigma =$	0,464	\leq	$0,60 \alpha_v f_{cd} =$	1,13 kN/cm ²

Fonte: Autor

A planilha fornece:

- ✓ O valor de R_k , que é calculado a partir dos carregamentos de entrada através da equação 25:

$$R_k = \frac{q_k \ell}{2} \quad (25)$$

- ✓ O valor de R_d , que é obtido dividindo-se R_k por γ_f ou através da entrada direta do seu valor pelo usuário nos casos em que julgar a equação de R_k como não adequada.

O resultado da verificação do critério adotado pelo usuário é informado na seção de entrada de dados.

3.2.5 Cálculo da ancoragem das barras

As ancoragens necessárias para a viga-parede são fornecidas pela planilha como mostra a Figura 16.

Figura 16 – Cálculo da ancoragem das barras.

CÁLCULO - ANCORAGEM DAS BARRAS

$A_{s,cal} =$	1,84 cm ²	Área da armadura calculada	
$f_{ctd} =$	1,03 MPa	Resistência à tração de cálculo do concreto	$\eta_1 = 2,25$
$f_{bd} =$	2,33 MPa	Resistência de aderência uniforme do concreto	$\eta_2 = 1,00$
$l_b =$	296,69 mm	Comprimento de ancoragem básico	$\eta_3 = 1,00$
$l_{b,nec} =$	70,42 mm	Comprimento de ancoragem necessário	
$0,3 * l_b =$	89,01 mm		
$10 \phi =$	63,50 mm		
$10 \text{ cm} =$	100 mm		
$l_{b,min} =$	10,0 cm	Comprimento de ancoragem mínimo	
$l_{b,final} =$	17,5 cm	Comprimento de ancoragem final	
Verificação	OK		
diam do gancho =	32 mm		
comp gancho min \geq	51 mm		
comp gancho min final =	100 mm		
Verificação	OK		

Fonte: Autor

A ancoragem da armadura longitudinal adotada pela planilha é através de ganchos horizontais limitados pelas dimensões da peça e pelo cobrimento do concreto.

Para isso, é calculado o comprimento de ancoragem mínimo necessário e o comprimento de ancoragem limitado pelas dimensões.

Caso o primeiro valor seja menor que o segundo, o cálculo é validado e o segundo valor é informado para o usuário como comprimento de ancoragem.

Caso não seja, o usuário deve buscar outras alternativas de ancoragem.

O mesmo ocorre para o comprimento do gancho.

3.3 RESULTADOS

A planilha informa os resultados pela tabela, conforme a Figura 17.

Figura 17 – Resultados da planilha: (a) com detalhamento; (b) em áreas

TIPO DE SAÍDA	Com Detalhamento	TIPO DE SAÍDA	Em Áreas
ARMADURA LONGITUDINAL		ARMADURA LONGITUDINAL	
	$A_{s1} = 5,38 \text{ cm}^2$		$A_{s1} = 5,41 \text{ cm}^2$
	Bitola Adotada = 6,35 mm		Bitola Adotada = 6,35 mm
	nº de barras = 17 barras		nº de barras =
	comprimento = 435 cm		comprimento =
	limite de altura = OK		limite de altura = OK
ARMADURA DE PELE HORIZONTAL		ARMADURA DE PELE HORIZONTAL	
	$A_{s2H} = 1,65 \text{ cm}^2/\text{m}$		$A_{s2H} = 1,50 \text{ cm}^2/\text{m}$
	Bitola Adotada = 6,35 mm		Bitola Adotada = 6,35 mm
	nº de barras/m h. = 13 barras		nº de barras/m h. =
	$S_v = 19,2 \text{ cm}$		$S_v =$
	comprimento = 415 cm		comprimento =
ARMADURA DE PELE VERTICAL + ARMADURA DE SUSPENSÃO		ARMADURA DE PELE VERTICAL + ARMADURA DE SUSPENSÃO	
	$A_{s2V} = 2,03 \text{ cm}^2/\text{m}$		$A_{s2V} = 1,98 \text{ cm}^2/\text{m}$
	Bitola Adotada = 5,08 mm		Bitola Adotada = 5,08 mm
	nº de barras/m = 42 barras		nº de barras/m =
	$S_{\text{vertical}} = 10,0 \text{ cm}$		$S_{\text{vertical}} =$
	comprimento = 534 cm		comprimento =

(a)

(b)

Fonte: Autor

Na célula “TIPO DE SAÍDA”, o usuário define se deseja usar o procedimento de cálculo do detalhamento adotado pela planilha, selecionando a opção “Com Detalhamento” (Figura 17-a), ou se deseja obter diretamente as áreas de armadura longitudinal, de pele horizontal e de pele vertical somada à armadura de suspensão, selecionando a opção “Em Áreas” (Figura 17-b).

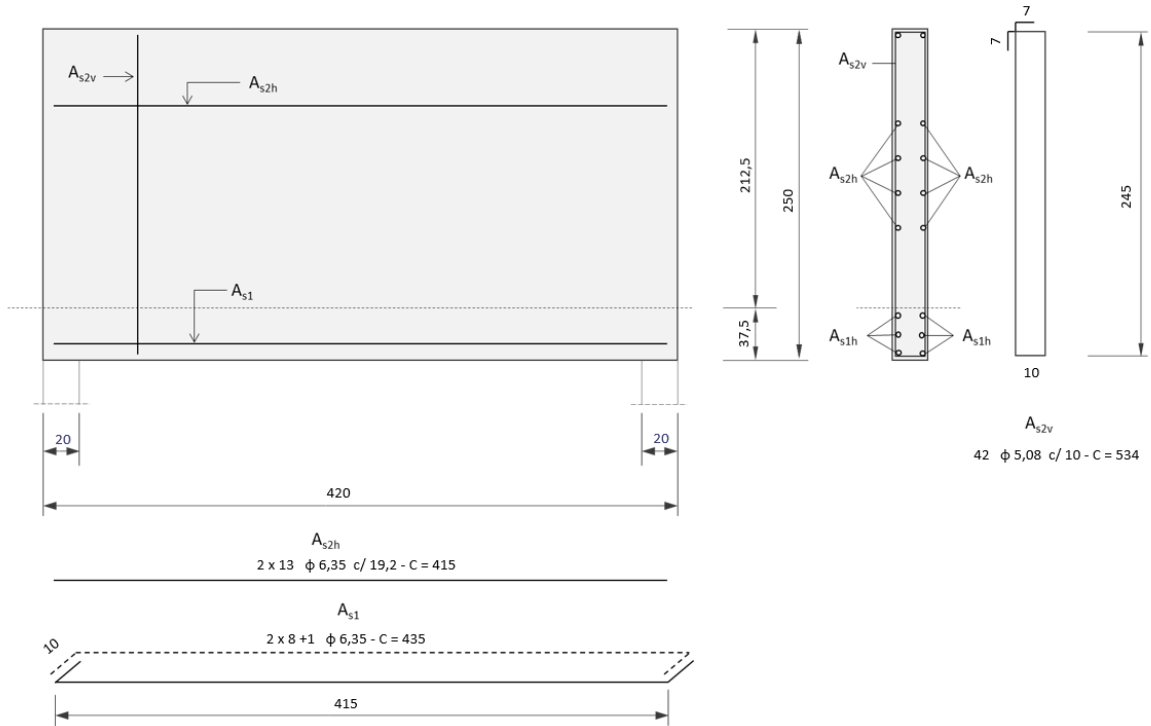
Na opção “Com Detalhamento”, as áreas de armadura informadas são as obtidas a partir da área das barras calculadas.

Na opção “Em Áreas”, são informadas as áreas mínimas obtidas pelo cálculo antes do dimensionamento das barras.

No desenho da viga parede ao lado dos resultados, ficam identificados os resultados das áreas e detalhamentos, conforme Figura 18.

Figura 18 – Detalhamento da viga parede

RESULTADOS



Fonte: Autor

4 ESTUDOS DE CASO

Para a verificação da eficácia da planilha, são elaborados dois estudos de caso tomados a partir de exemplos resolvidos.

O primeiro exemplo é retirado do livro “Curso de Concreto Armado” – vol 4, ARAÚJO (2003, p. 100) e o segundo exemplo é retirado da apostila “Curso de Concreto Armado 3 – Viga Parede”, GIUGLIANI.

Os resultados são comparados com os resultados das referências.

4.1 ESTUDO DE CASO I

Fonte: “Curso de Concreto Armado” – vol 4, ARAÚJO (2003, p. 100)

Dados de entrada:

- ✓ $P_{k1} = 3 \text{ kN/m}$;
- ✓ $P_{k2} = 23 \text{ kN/m}$;
- ✓ $\ell = 300 \text{ cm}$;
- ✓ $a_w = 20 \text{ cm}$;
- ✓ $b_w = 15 \text{ cm}$;
- ✓ $h = 200 \text{ cm}$;
- ✓ Aço CA-50;
- ✓ Resistência característica do concreto $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$;
- ✓ Cobrimento de 2,5 cm e
- ✓ Esquema estrutural de viga biapoiada.

A Figura 19 mostra a interface da planilha ao inserir os dados, a verificação das tensões nos apoios e do atendimento ao critério de viga-parede.

Figura 19 – Interface da planilha (a) ao inserir os dados do Estudo de Caso I na região dos dados com a verificação das tensões nos apoios, o (b) esquema da viga, e (c) a verificação do atendimento ao critério de viga-parede ao inserir o tipo de apoio.

(continua)

DADOS INICIAIS

Materiais

$f_{ck} = 20$ MPa $f_{yd} = 43,5$ kN/cm²

Coefficientes Parciais

$\gamma_c = 1,4$ $\eta_1 = 2,25$
 $\gamma_f = 1,4$ $\eta_2 = 1,0$
 $k_{x\text{ lim}} = 0,628$ domínio 3 $\eta_3 = 1,0$
 $\rho_c = 25$ kN/m³

Dimensões

$b_w = 15$ cm $\ell = 3,0$ m
 $h = 200$ cm $a_w = 20$ cm

Cargas / Esforços

$P_{K1} = 3,0$ kN/m $pp = 7,5$ kN/m
 $P_{K2} = 23,0$ kN/m $q_k = 33,5$ kN/m
 $M_d =$ kN.m
 $R_d =$ kN

Dimensionamento

$cobr = 2,5$ cm $arred = 3\%$
 $\phi_{ag} = 19,0$ mm

Tensão nos apoios

Verificação das tensões no apoio: **ABNT NBR 6118/Araújo**

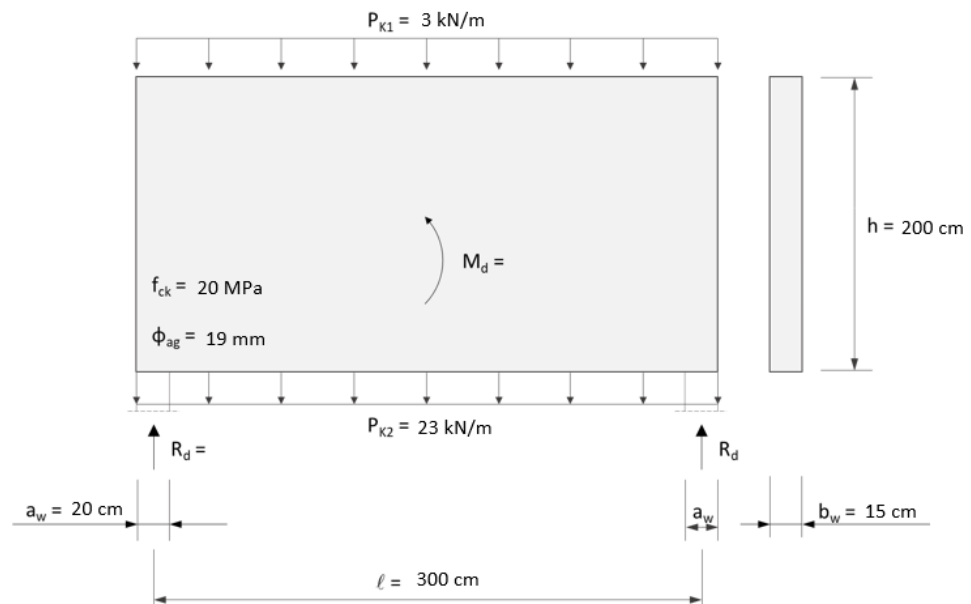
Nota: As células com essa formatação devem ser preenchidas

OK

(a)

DADOS DE ENTRADA

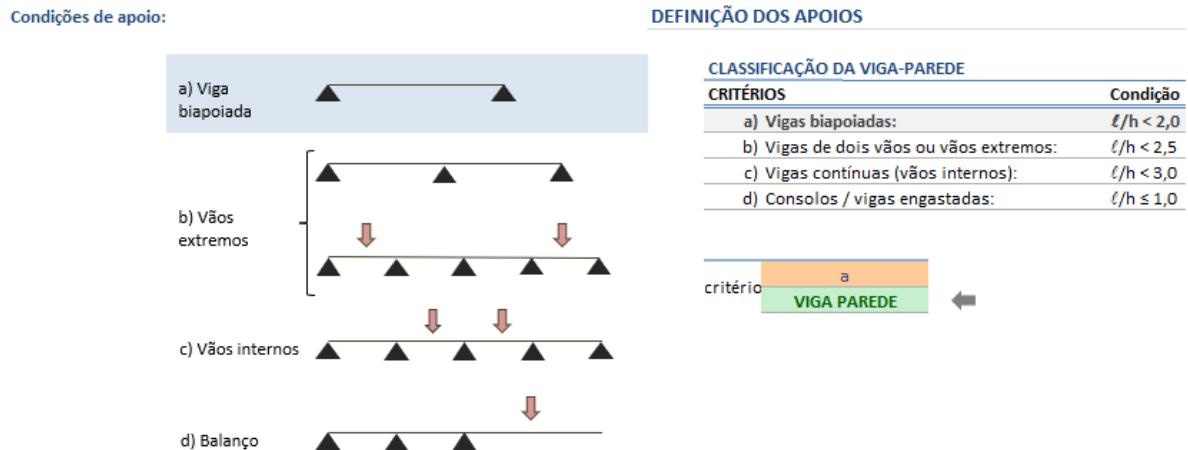
Viga parede:



(b)

Figura 19 – Interface da planilha (a) ao inserir os dados do Estudo de Caso I na região dos dados com a verificação das tensões nos apoios, o (b) esquema da viga, e (c) a verificação do atendimento ao critério de viga-parede ao inserir o tipo de apoio.

(conclusão)



(c)

Fonte: Autor

Resultados do exemplo:

- ✓ Verificação de viga-parede (ARAÚJO, 2014): OK
- ✓ Verificação das tensões nos apoios: OK
- ✓ $A_{sl} = 0,91 \text{ cm}^2$;
- ✓ $A_{s2h} = 1,5 \text{ cm}^2/\text{m}$ e
- ✓ $A_{s2v} = 1,87 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($0,37 \text{ cm}^2 + 1,5 \text{ cm}^2$).

Resultados obtidos pela planilha com opção “Em Áreas”:

- ✓ Verificação de viga-parede (ARAÚJO, 2014): OK
- ✓ Verificação das tensões nos apoios: OK
- ✓ $A_{sl} = 4,04 \text{ cm}^2$;
- ✓ $A_{2h} = 1,5 \text{ cm}^2/\text{m}$ e
- ✓ $A_{s2v} = 1,87 \text{ cm}^2/\text{m}$.

A Figura 20 exibe os resultados da planilha na seleção (a) “Em Áreas” e (b) “Em Detalhamento”, a partir do qual é feito (c) o detalhamento das armaduras.

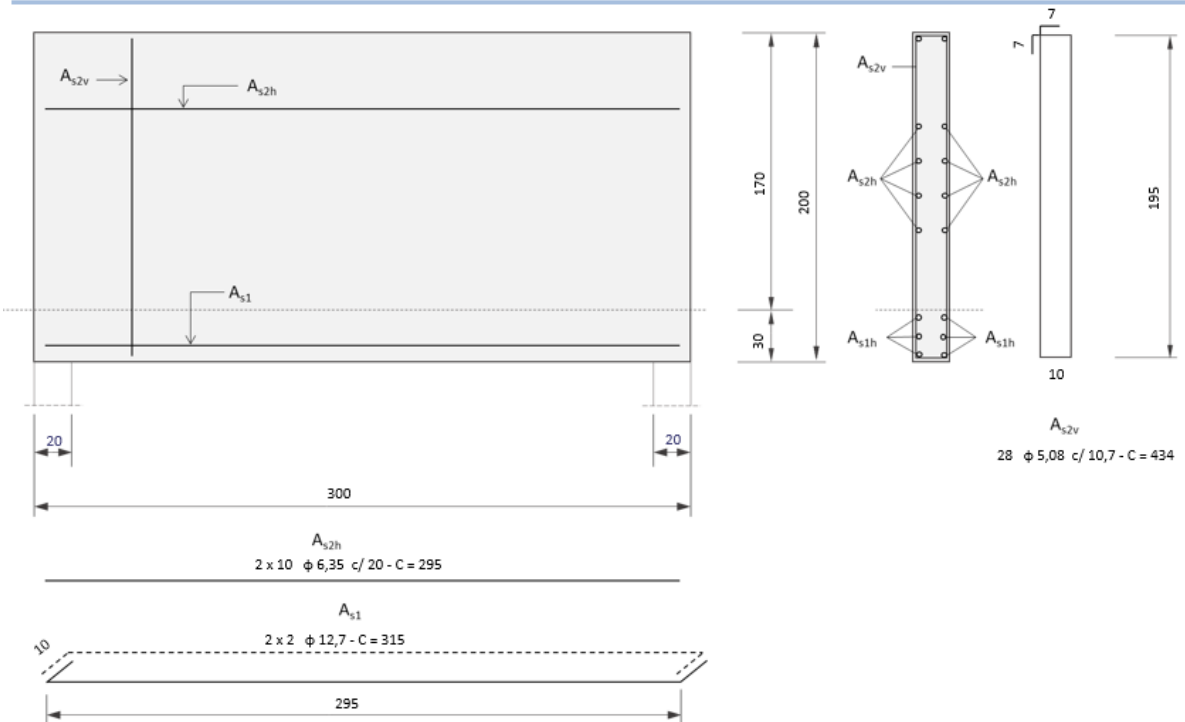
Figura 20 – Saída dos resultados do Estudo de Caso I pela planilha na seleção (a) “Em Áreas” e (b) “Em Detalhamento”, a partir do qual é feito (c) o detalhamento das armaduras.

TIPO DE SAÍDA	Em Áreas	TIPO DE SAÍDA	Com Detalhamento
ARMADURA LONGITUDINAL		ARMADURA LONGITUDINAL	
$A_{s\ell} =$	4,04 cm ²	$A_{s\ell} =$	5,07 cm ²
Bitola Adotada =	12,70 mm	Bitola Adotada =	12,70 mm
nº de barras =		nº de barras =	4 barras
comprimento =		comprimento =	315 cm
limite de altura =	OK	limite de altura =	OK
ARMADURA DE PELE HORIZONTAL		ARMADURA DE PELE HORIZONTAL	
$A_{s2H} =$	1,50 cm ² /m	$A_{s2H} =$	1,58 cm ² /m
Bitola Adotada =	6,35 mm	Bitola Adotada =	6,35 mm
nº de barras/m h.=		nº de barras/m h.=	10 barras
$S_v =$		$S_v =$	20,0 cm
comprimento =		comprimento =	295 cm
ARMADURA DE PELE VERTICAL + ARMADURA DE SUSPENSÃO		ARMADURA DE PELE VERTICAL + ARMADURA DE SUSPENSÃO	
$A_{s2V} =$	1,87 cm ² /m	$A_{s2V} =$	1,89 cm ² /m
Bitola Adotada =	5,08 mm	Bitola Adotada =	5,08 mm
nº de barras/m =		nº de barras/m =	28 barras
$S_{vertical} =$		$S_{vertical} =$	10,7 cm
comprimento =		comprimento =	434 cm

(a)

(b)

RESULTADOS



(c)

Fonte: Autor

Comparando os dois resultados, pode-se verificar que os valores das áreas das armaduras de suspensão e de pele estarem iguais, porém há uma diferença considerável nos valores de área de armadura longitudinal, A_{st} .

Isso ocorre pois nos cálculos do exemplo base não é considerada a área mínima de armadura.

No entanto, a comparação torna-se satisfatória se feita a partir do valor obtido pela planilha antes de se calcular a armadura mínima que é igual a $0,90 \text{ cm}^2$.

4.2 ESTUDO DE CASO II

Fonte: “Curso de Concreto Armado 3 – Viga Parede”, GIUGLIANI

Dados de entrada:

- ✓ $P_{k1} = 8 \text{ kN/m}$;
- ✓ $P_{k2} = 30 \text{ kN/m}$;
- ✓ $\ell = 380 \text{ cm}$;
- ✓ $a_w = 20 \text{ cm}$;
- ✓ $b_w = 15 \text{ cm}$;
- ✓ $h = 250 \text{ cm}$;
- ✓ Aço CA-50;
- ✓ Resistência característica do concreto $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$;
- ✓ Cobrimento de 2,5 cm e
- ✓ Esquema estrutural de uma viga biapoiada.

A Figura 21 mostra a interface da planilha ao inserir os dados, a verificação das tensões nos apoios e do atendimento ao critério de viga-parede.

Figura 21 – Interface da planilha (a) ao inserir os dados do Estudo de Caso II na região dos dados com a verificação das tensões nos apoios, o (b) esquema da viga, e (c) a verificação do atendimento ao critério de viga-parede ao inserir o tipo de apoio.

(continua)

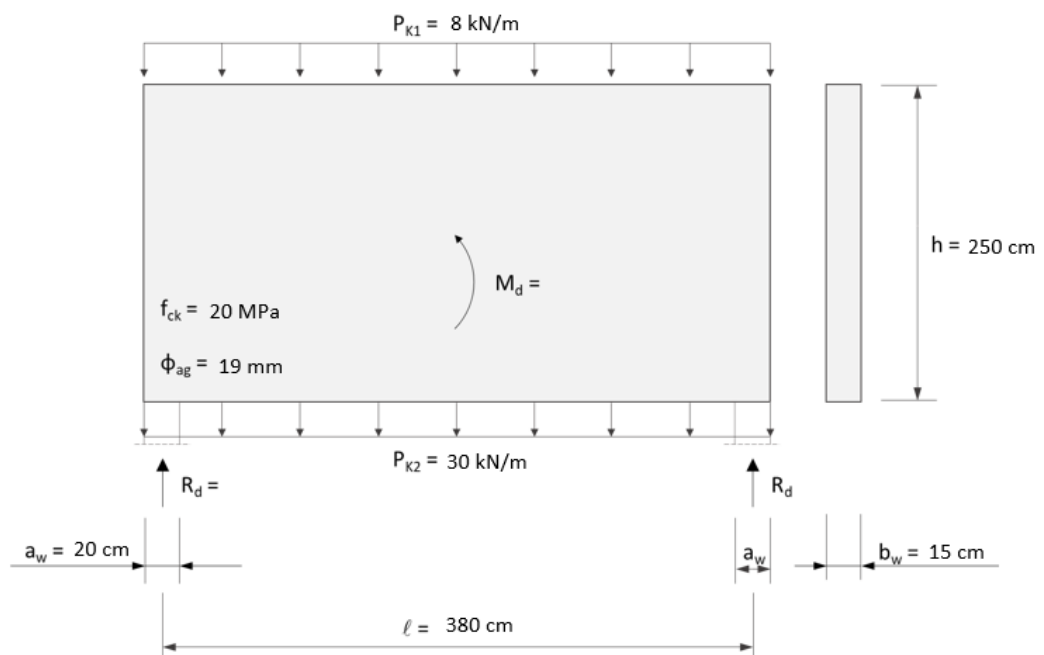
DADOS INICIAIS	
Materiais	
$f_{ck} = 20$ MPa	$f_{yd} = 43,5$ kN/cm ²
Coefficientes Parciais	
$\gamma_c = 1,4$	$\eta_1 = 2,25$
$\gamma_f = 1,4$	$\eta_2 = 1,0$
$k_{x_{lim}} = 0,628$ domínio 3	$\eta_3 = 1,0$
$\rho_c = 25$ kN/m ³	
Dimensões	
$b_w = 15$ cm	$\ell = 3,8$ m
$h = 250$ cm	$a_w = 20$ cm
Cargas / Esforços	
$P_{K1} = 8,0$ kN/m	$pp = 9,375$ kN/m
$P_{K2} = 30,0$ kN/m	$q_k = 47,4$ kN/m
$M_d =$ kN.m	
$R_d =$ kN	
Dimensionamento	
$cobr = 2,5$ cm	$arred = 3\%$
$\phi_{ag} = 19,0$ mm	
Tensão nos apoios	
Verificação das tensões no apoio: ABNT NBR 6118/Araújo	OK

Nota: As células com essa formatação devem ser preenchidas

(a)

DADOS DE ENTRADA

Viga parede:

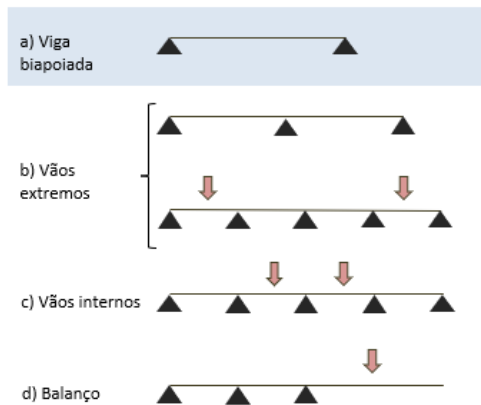


(b)

Figura 21 – Interface da planilha (a) ao inserir os dados do Estudo de Caso II na região dos dados com a verificação das tensões nos apoios, o (b) esquema da viga, e (c) a verificação do atendimento ao critério de viga-parede ao inserir o tipo de apoio.

(conclusão)

Condições de apoio:



DEFINIÇÃO DOS APOIOS

CLASSIFICAÇÃO DA VIGA-PAREDE

CRITÉRIOS	Condição
a) Vigas biapoiadas:	$l/h < 2,0$
b) Vigas de dois vãos ou vãos extremos:	$l/h < 2,5$
c) Vigas contínuas (vãos internos):	$l/h < 3,0$
d) Consolos / vigas engastadas:	$l/h \leq 1,0$

critério a
VIGA PAREDE ←

(c)

Fonte: Autor

Resultados do exemplo:

- ✓ Verificação de viga-parede (ARAÚJO, 2014): OK
- ✓ Verificação das tensões nos apoios: OK
- ✓ $A_{sl} = 1,62 \text{ cm}^2$;
- ✓ $A_{s2h} = 1,5 \text{ cm}^2/\text{m}$ e
- ✓ $A_{s2v} = 2,0 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($0,5 \text{ cm}^2 + 1,5 \text{ cm}^2$).

Resultados obtidos pela planilha com opção “Em Áreas”:

- ✓ Verificação de viga-parede (ARAÚJO, 2014): OK
- ✓ Verificação das tensões nos apoios: OK
- ✓ $A_{sl} = 5,10 \text{ cm}^2$;
- ✓ $A_{2h} = 1,5 \text{ cm}^2/\text{m}$ e
- ✓ $A_{s2v} = 1,98 \text{ cm}^2/\text{m}$.

A Figura 22 exibe os resultados da planilha na seleção (a) “Em Áreas” e (b) “Em

Detalhamento”, a partir do qual é feito (c) o detalhamento das armaduras.

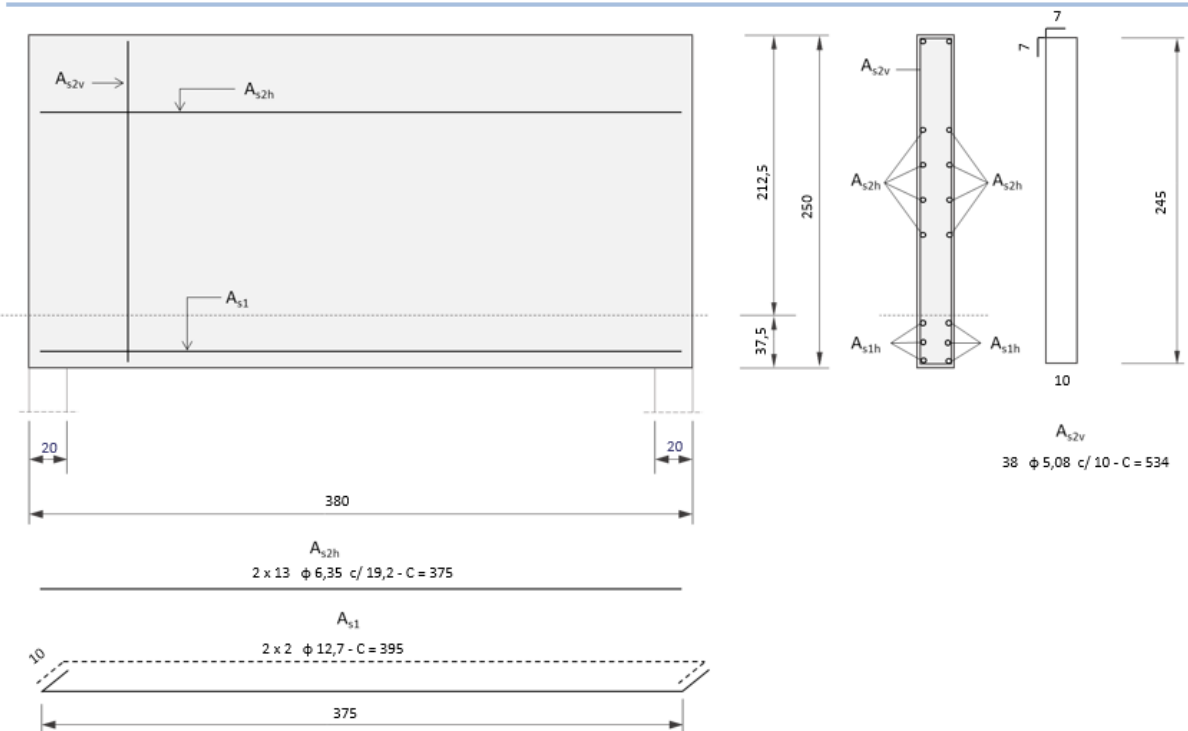
Figura 22 – Saída dos resultados do Estudo de Caso II pela planilha na seleção (a) “Em Áreas” e (b) “Em Detalhamento”, a partir do qual é feito (c) o detalhamento das armaduras.

TIPO DE SAÍDA	Em Áreas	TIPO DE SAÍDA	Com Detalhamento
ARMADURA LONGITUDINAL		ARMADURA LONGITUDINAL	
$A_{s\ell} =$	5,10 cm ²	$A_{s\ell} =$	5,07 cm ²
Bitola Adotada =	12,70 mm	Bitola Adotada =	12,70 mm
nº de barras =		nº de barras =	4 barras
comprimento =		comprimento =	395 cm
limite de altura =	OK	limite de altura =	OK
ARMADURA DE PELE HORIZONTAL		ARMADURA DE PELE HORIZONTAL	
$A_{s2H} =$	1,50 cm ² /m	$A_{s2H} =$	1,65 cm ² /m
Bitola Adotada =	6,35 mm	Bitola Adotada =	6,35 mm
nº de barras/m h.=		nº de barras/m h.=	13 barras
$S_v =$		$S_v =$	19,2 cm
comprimento =		comprimento =	375 cm
ARMADURA DE PELE VERTICAL + ARMADURA DE SUSPENSÃO		ARMADURA DE PELE VERTICAL + ARMADURA DE SUSPENSÃO	
$A_{s2V} =$	1,98 cm ² /m	$A_{s2V} =$	2,03 cm ² /m
Bitola Adotada =	5,08 mm	Bitola Adotada =	5,08 mm
nº de barras/m =		nº de barras/m =	38 barras
$S_{\text{vertical}} =$		$S_{\text{vertical}} =$	10,0 cm
comprimento =		comprimento =	534 cm

(a)

(b)

RESULTADOS



(c)

Fonte: Autor

O mesmo comportamento observado no Estudo de Caso I ocorre no Estudo de Caso II, com uma diferença considerável nos valores das áreas de armadura longitudinal final, mas comparando-as com a área antes da correção de armadura mínima, seu valor torna-se igual, ou seja, de 1,62 cm².

5 CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu um maior aprendizado sobre o cálculo e dimensionamento de estruturas de viga-parede através da roteirização do procedimento e adaptação para planilhas desenvolvidas no Microsoft Office Excel.

Foi observado através dos resultados e comparações com os Estudos de Caso I e II que os resultados esperados pela planilha são satisfatórios.

Nota-se, entretanto, que para casos mais complexos, onde não existem apenas carregamentos distribuídos e/ou furos na peça, situações que ABNT NBR 6118:2014 considera de alta influência sobre o comportamento estrutural em vigas-parede, recomenda-se o uso da planilha de cálculo apenas para fins expeditos, pois apesar do usuário ter a opção informar o momento de cálculo diretamente, o comportamento estrutural da viga-parede pode divergir do adotado pela planilha.

Além disso, apesar da planilha verificar com eficiência se vigas com diferentes condições de apoio são vigas-parede e calcular a área da armadura de tração principal para vigas contínuas, não faz o dimensionamento e detalhamento das armaduras na região dos apoios intermediários e o dimensionamento e detalhamento das armaduras em consolos, cabendo a utilização de meios alternativos para esses casos.

O usuário também é orientado a utilizar outros meios para o detalhamento de ancoragem caso prefira uma alternativa ao gancho horizontal de 90 graus ou formas de distribuição das barras de aço distintas das propostas pela planilha.

Por fim, conclui-se que planilha eletrônica desenvolvida atinge o objetivo ao qual se propõe que é a de verificar e dimensionar as principais áreas de aço das armaduras de uma viga-parede de forma simples e de fácil manipulação do usuário permitindo exibir uma opção dos detalhamentos das principais armaduras de uma viga-parede.

Como sugestão de continuidade e desenvolvimento deste trabalho, está a continuidade no desenvolvimento da planilha com o objetivo de englobar o detalhamento completo de vigas-parede em condições de apoio distintas da viga biapoiada, como nos casos de vigas contínuas e de consolos. Além disso, pode-se explorar a possibilidade de se adicionar cargas concentradas e furos na estrutura, explorando-se outros limites de complexidade de carregamento e geometria.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. C. **Técnicas de armar as estruturas de concreto: vigas - parede**. Anotações de aula. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2017.
- ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. Rio Grande – RS: Dunas, 2014. v. 4.
- ARAÚJO, J. M. **Notas de aula**. v. 4, cap. 4. Disponível em: <http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/aulas.htm>. Acesso em: 6 nov. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118: projeto de estruturas de concreto: procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- FUSCO, P. B. **Estruturas de concreto: solicitações normais**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1981.
- GIUGLIANI, E. **Curso de concreto armado 3: viga parede**. Disponível em: https://www.politecnica.pucrs.br/professores/giugliani/ENGENHARIA_CIVIL_-_Concreto_Armado_III/02_Viga_Parede.pdf. Acesso em: 6 nov. 2019.
- MONTOYA, J. **Hormigon armado**. Barcelona-ES: Gustavo Gilli, 2010.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BOTELHO, M. H. **Concreto armado “Eu te amo”**. São Paulo: Edgard Blucher, 2015, 2 vols.

FRANCESCHI, L. *et al.* **Manual do aplicativo computacional “EBERICK”**: projeto de estruturas de concreto armado assistido por computador. Disponível em: http://help.al-toqi.com.br/Tutorial_EB_Basico/#pageid=introducao_basico. Acesso em: 6 de nov. 2019.

LEONHARDT, F. **Estruturas de concreto**. Rio de Janeiro: Interciência, 1997. v. 1.

PFEIL, W. **Concreto armado**. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 194 p.

ROCHA, A. M. **Novo curso prático de concreto armado**. 15. ed. Rio de Janeiro: Científica, 1976, v. 1.

ROCHA, A. M. **Novo curso prático de concreto armado**. 15. ed. Rio de Janeiro: Científica, 1976, v. 2.

ROCHA, A. M. **Novo curso prático de concreto armado**. 15. ed. Rio de Janeiro: Científica, 1976, v. 3.

SANTOS, L. M. **Cálculo de concreto armado**. São Paulo: LMS, 1981. v. 1.

SANTOS, L. M. **Cálculo de concreto armado**. São Paulo: LMS, 1981. v. 2.

SUSSEKIND, J. C. **Curso de concreto**. Rio de Janeiro: Globo, 1981. 376 p. v. 1.

SUSSEKIND, J. C. **Curso de concreto**. Rio de Janeiro: Globo, 1984. 280 p. v. 2.