

Aula 2 – Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado e métodos de cálculo

PROF.^a PATRÍCIA ANDRADE

Projeto estrutural

Objetivos:

Garantia de segurança estrutural evitando-se o colapso da estrutura;

Garantia de bom desempenho da estrutura evitando-se a ocorrência de grandes deslocamentos, vibrações, danos locais.

Etapas

- Anteprojeto ou projeto básico: definição do sistema estrutural, os materiais a serem utilizados, o sistema construtivo;
- Dimensionamento ou cálculo estrutural: definição das dimensões da estrutura e suas ligações de maneira a garantir a segurança e o bom desempenho da estrutura;
- Detalhamento: elaboração do desenho executivo da estrutura com todas as especificações de todos os componentes.

Qualidade das estruturas de concreto armado

A norma estabelece que as estruturas de concreto armado devem atender aos seguintes requisitos mínimos de qualidade durante a construção e utilização, classificados em três grupos distintos:

- Grupo 1: requisitos relativos à capacidade resistente da estrutura ou de seus elementos componentes
- Grupo 2: requisitos relativos ao desempenho em serviço
- Grupo 3: requisitos relativos a sua durabilidade, que consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante

Estado limite último - ELU

Qualidade das estruturas de concreto armado

A norma estabelece que as estruturas de concreto armado devem atender aos seguintes requisitos mínimos de qualidade durante a construção e utilização, classificados em três grupos distintos:

- Grupo 1: requisitos relativos à capacidade resistente da estrutura ou de seus elementos componentes
- Grupo 2: requisitos relativos ao desempenho em serviço
- Grupo 3: requisitos relativos a sua durabilidade, que consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante

Estado limite de serviço - ELS

Qualidade das estruturas de concreto armado

A norma estabelece que as estruturas de concreto armado devem atender aos seguintes requisitos mínimos de qualidade durante a construção e utilização, classificados em três grupos distintos:

- Grupo 1: requisitos relativos à capacidade resistente da estrutura ou de seus elementos componentes
- Grupo 2: requisitos relativos ao desempenho em serviço
- Grupo 3: requisitos relativos a sua durabilidade, que consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante

Classe de agressividade ambiental

Durabilidade das estruturas de concreto armado

A NBR 6118/2014 exige que as estruturas sejam projetadas e construídas de modo que, sob as influências ambientais previstas e quando estabelecidas em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e comportamento adequado em serviço durante o período correspondente à sua vida útil

Dessa forma temos as classes de agressividade ambiental

Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Por que é importante determinar a classe de agressividade ambiental?

A classe de agressividade ambiental classifica quanto um ambiente pode ser agressivo quimicamente e fisicamente às estruturas de concreto armado

As ações físicas e químicas com o tempo causam danos às estruturas de concreto armado, que podem ser simples ou até mesmo provocar o colapso da mesma



Durabilidade das estruturas de concreto armado

Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Tabela 7.1 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Tabela 7.2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Método dos Estados Limites

Estado limite último (ELU)

- perdas de equilíbrio como corpo rígido
- esgotamento da capacidade resistente da estrutura em seu todo ou em parte por solicitações normais, tangenciais, efeitos de segunda ordem, exposição ao fogo, ações sísmicas
- É relacionado ao colapso ou a qualquer outra forma de ruína estrutural que determine a paralisação, no todo ou em parte, do uso da estrutura
- **está ligado a iminência da ruptura da estrutura!!!!**

O dimensionamento das estruturas → feito para atender ao estado limite último

ESTADO LIMITE ÚLTIMO

Justiça do Pará condena engenheiro do edifício Real Class por homicídio

Edifício em construção desabou em 2011 provocando três mortes.
Pena do engenheiro será revertida em serviços comunitários.



O juiz explica ainda que ao utilizar o modelo pórtico por pavimento, Raimundo "não considerou as cargas horizontais, tanto as decorrentes da ação do vento, como do próprio desequilíbrio da estrutura assimétrica, quando submetida ao peso próprio, não resistindo, com isso, a estrutura já construída a um vento de cerca de 30 a 39km/hora", de acordo com a sentença.

(Fonte:
<http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2016/05/justica-do-para-condena-engenheiro-do-edificio-real-class-por-homicidio.html>)

Método dos Estados Limites

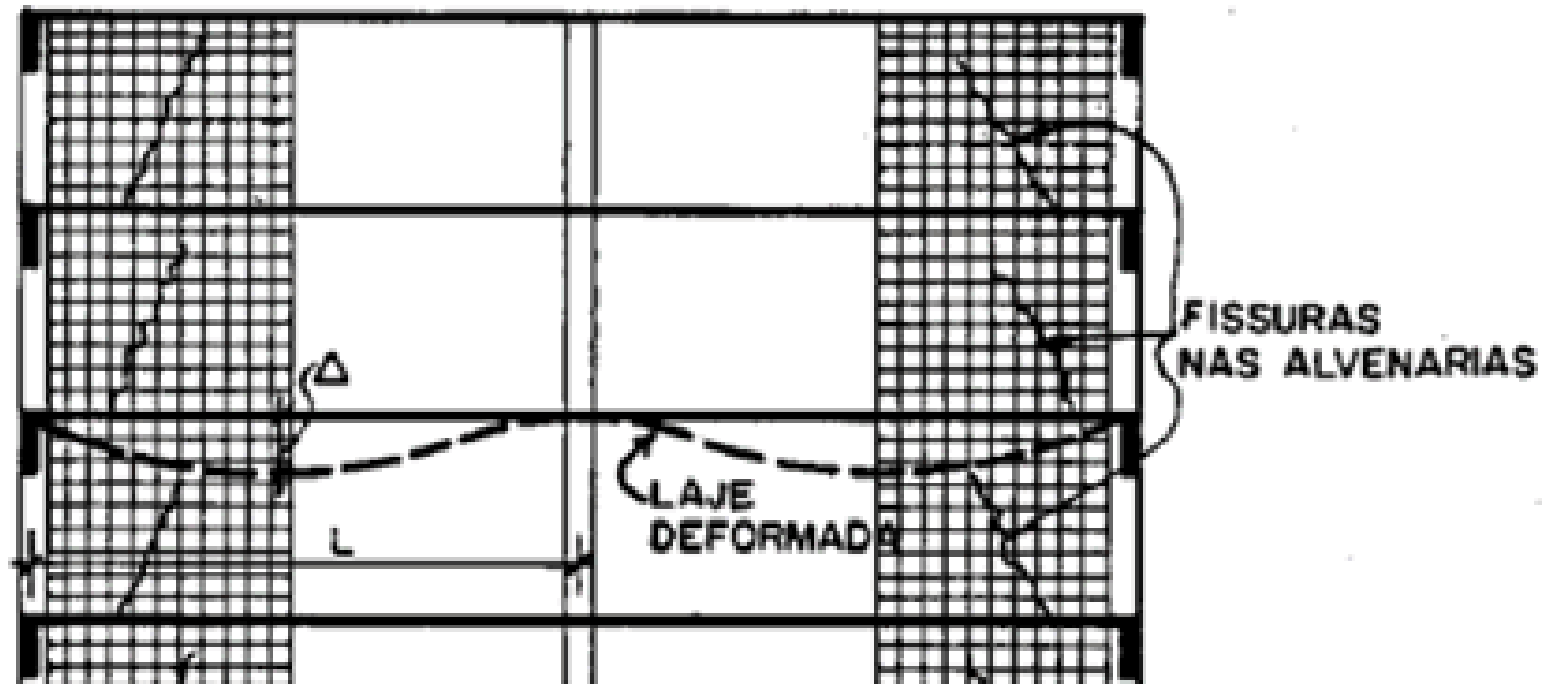
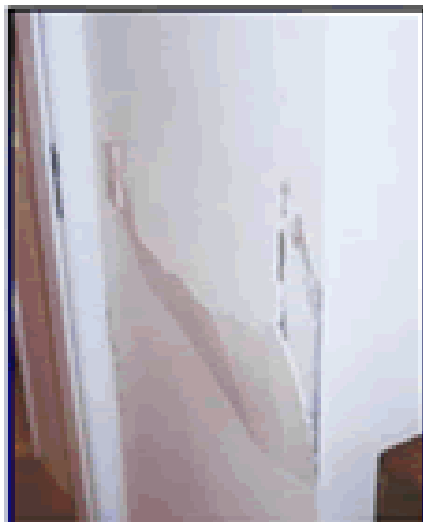
Estado limite de utilização ou serviço (ELS)

- deformações excessivas
- aberturas de fissuras
- formação de fissuras
- Vibrações excessivas
- É relacionado à durabilidade das estruturas, à aparência, ao conforto do usuário e à boa utilização funcional das mesmas, seja em relação aos usuários, às máquinas ou aos equipamentos utilizados
- **Ou seja, o desempenho da estrutura em serviço ao longo da vida útil!!!**

**verificações relacionadas com o desempenho da estrutura ao longo da sua vida útil
→ estado limite de utilização**

ESTADO LIMITE DE SERVIÇO

REVESTIMENTOS



ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO



BLOCOS

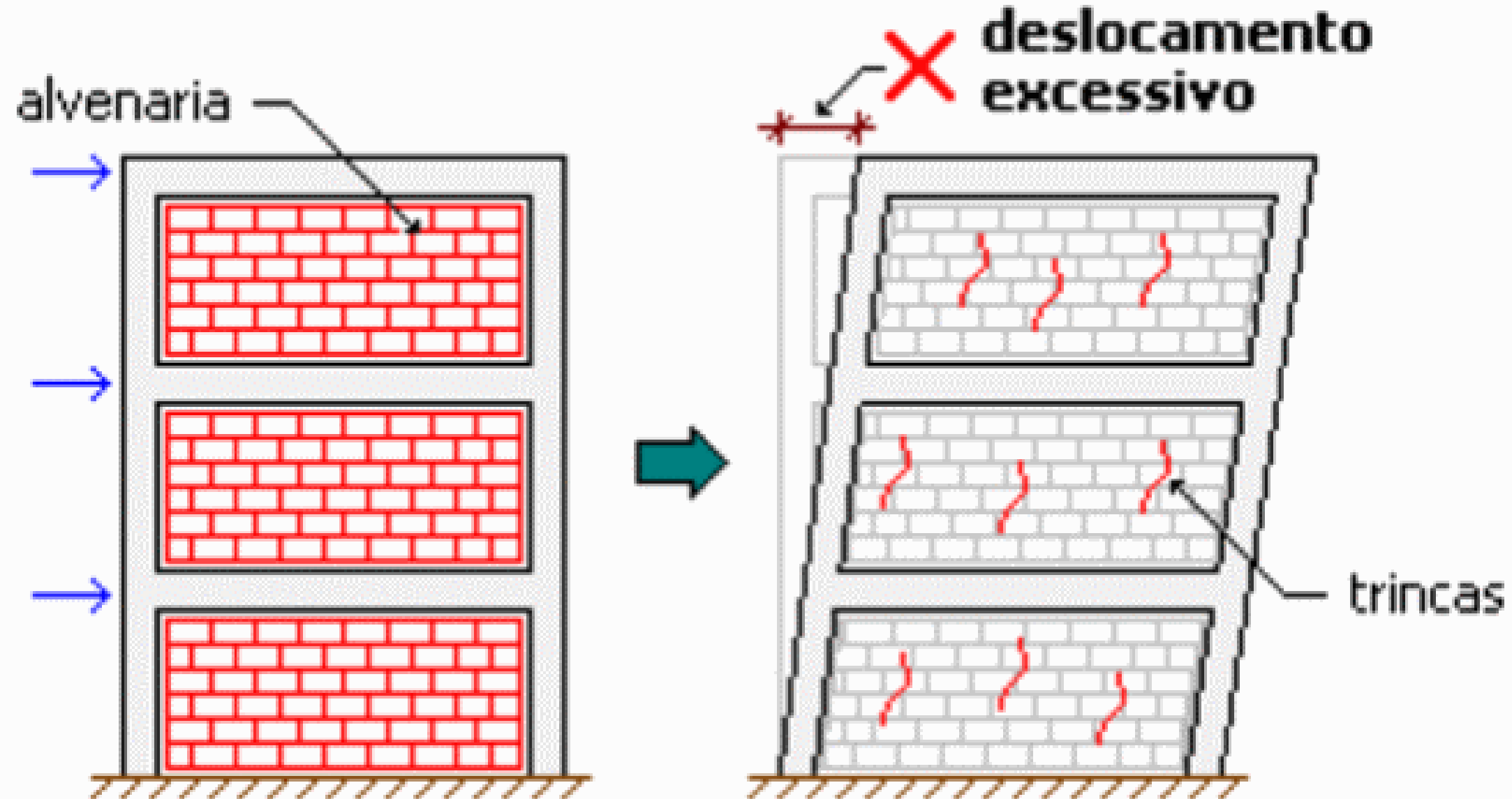


BLOCOS



ESTADO LIMITE DE SERVIÇO

DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS EXCESSIVOS





Fonte: https://brasil.elpais.com/brasil/2017/06/19/estilo/1497881305_678826.html

COMO SÃO DETERMINADAS AS
FORÇAS SOBRE UMA
ESTRUTURA?

COMO SÃO DETERMINADOS OS
“VALORES” DAS FORÇAS SOBRE UMA
ESTRUTURA?

Normas de definição de cargas em estruturas

NBR 6120 – CARGAS PARA O CÁLCULO DE ESTRUTURAS DE EDIFICAÇÕES

NBR 6123 – FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES

NBR 7188 – CARGA MÓVEL EM POTE RODOVIÁRIA E PASSARELA DE PEDESTRES

NBR 6120 – CARGAS PARA O CÁLCULO DE ESTRUTURAS DE EDIFICAÇÕES

Estabelece as ações mínimas a serem consideradas no projeto de estruturas de edificações, qualquer que seja sua classe e destino, salvo os casos previstos em normas brasileiras específicas:

- ABNT NBR 6123/2019 FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES;
- ABNT NBR 15421/2006 PROJETO DE ESTRUTURAS RESISTENTES A SISMOS – PROCEDIMENTO
- ABNT NBR 14323/2013 PROJETO DE ESTRUTURAS DE AÇO E DE ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO DE EDIFÍCIOS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO
- ABNT NBR 15200/2012 PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Ações

Ação é qualquer influência, ou conjunto de influências, capaz de produzir estados de tensão ou deformação em uma estrutura

➤ **Permanentes:**

pouca variação ou variação inexistente ao longo da vida da construção

Ex: peso próprio da estrutura

pesos de instalações permanentes.

Sempre que necessário considerar os empuxos de terra e outros materiais granulosos, quando não admitidos removíveis.

Retração

Protensão

Fluência

recalques

Ações

► Variáveis:

variação durante a vida da construção

Ex.: acidental vertical

Vento

temperatura

Ações

▶ Excepcionais:

Baixa probabilidade de ocorrência;

Curta duração.

Ex.: abalos sísmicos

Ações devem ser combinadas!!!!

Para encontrar a situação crítica!!!

No ELU as cargas são majoradas por coeficientes

No ELS as cargas são minoradas, com exceção das cargas de permanentes

Coeficientes de ponderação ELU

Quadro 1.4 Valores do coeficiente $\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f3}$.

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	Desfavorável	Favorável	Geral	Temperatura	Desfavorável	Favorável	Desfavorável	Favorável
Normais	1,4*	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0

* Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Coeficientes de redução

Quadro 1.5 Valores do coeficiente γ_{f2} .

Ações	γ_{f2}		
	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Cargas acidentais de edifícios			
• Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas, como é o caso de edifícios residenciais	0,5	0,4	0,3
• Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentração de pessoas, como é o caso de edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos	0,7	0,6	0,4
• Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento			
• Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0,2
Temperatura			
• Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

ψ_0 – fator de redução de combinação para o estado limite último;

ψ_1 – fator de redução de combinação frequente para o estado limite de serviço; e

ψ_2 – fator de redução de combinação quase permanente para o estado limite de serviço.

Tipos de combinações últimas

➤ Normal:

Uso previsto desde o início do projeto;

Longa duração;

ELU;

$$F_D = \sum_{i=1}^n \gamma_{gi} F_{gi} + \gamma_q (F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{qj,k})$$

Tipos de combinações últimas

➤ **Excepcional:**

Efeitos catastróficos

$$F_D = \sum_{i=1}^n \gamma_{gi} F_{gi} + F_{EXP} + \gamma_q \left(\sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{qj,k} \right)$$

Tipos de combinações últimas

➤ **Especial:**

Natureza ou intensidade especiais;

➤ **Construção:**

Referente aos procedimentos de construção

$$F_D = \sum_{i=1}^n \gamma_{gi} F_{gi} + \gamma_q (F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{qj,k})$$

ATENÇÃO

Cargas em lajes são dadas em unidade de força/área, pois lajes são elementos planos (placas)

Ex.: kN/m^2 , kgf/cm^2

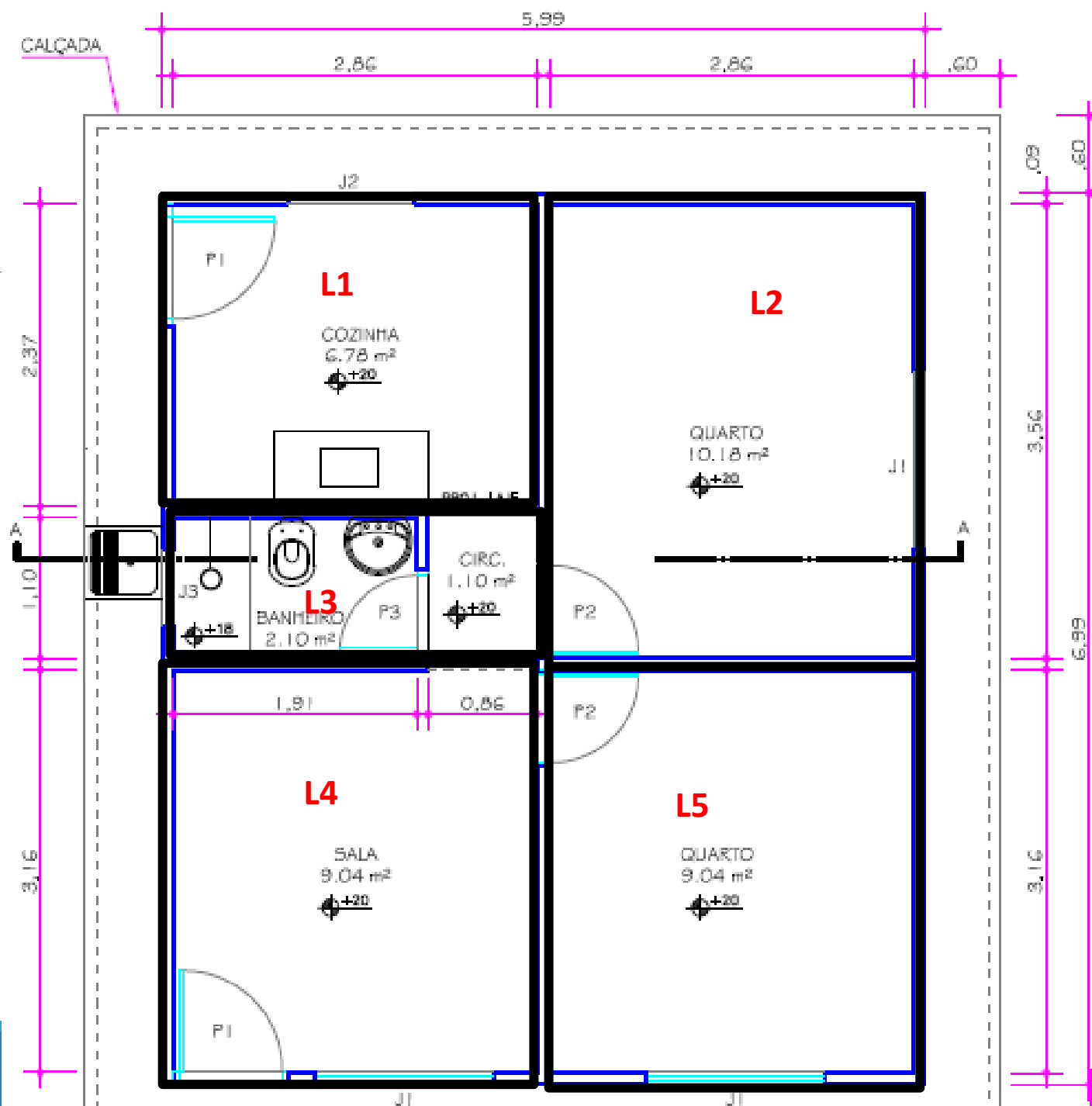
Cargas em vigas são dadas em unidade de força/comprimento, pois vigas são elementos lineares (barras)

Ex.: kN/m , kgf/m

Exemplo 1: determinação de carga de laje

Determinar a força solicitante de projeto (chamada de F_d ou F_{sd}) de cada cômodo de uma edificação residencial cuja planta está especificada a seguir. Considere que:

- na laje 3 possui um revestimento de 5 cm e, abaixo da laje L3, há um forro em gesso acartonado
- A laje 1 possui um revestimento de 7 cm de espessura
- Todas as lajes são maciças
- L1 possui um forro de gesso em placas
- L2, L4 e L5 possuem um forro de gesso em placas e revestimento de 5 cm de espessura
- Espessura de L1=L5=10 cm
- Espessura de L2=12cm
- Espessura de L4= 15 cm
- Adote uma classe de agressividade 3 → cobertura (c) =3,5 cm



Laje 1

A laje 1 possui um revestimento de 7 cm de espessura

L1 possuem um forro de gesso em placas

Espessura de L1=L5=10 cm

Adote uma classe de agressividade 3 → cobertura (c) =3,5 cm

$$\gamma_{g \text{ laje}} = 1,4$$

$$\gamma_{g \text{ gesso}} = 1,4$$

$$\gamma_{g \text{ rev}} = 1,4$$

$$\gamma_{aci} = 1,4$$

Resolução

Ações na Laje 1:

■ permanentes:

➤ Peso próprio da laje 1

$$P_{pL1} = \gamma_{ap} * esp.$$

esp. **Espessura da laje**

γ_{ap} : **Peso específico aparente do concreto armado segundo a NBR 6120/2019 (TABELA 1)**

Tabela 1 (continuação)

	Material	Peso específico aparente γ_{ap} kN/m ³
3 Argamassas e concretos	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cal	12 a 18 (15)
	Argamassa de cimento e areia	19 a 23 (21)
	Argamassa de gesso	12 a 18 (15)
	Argamassa autonivelante	24
	Concreto simples	24
	Concreto armado	25

Resolução

Ações na Laje 1:

- permanentes:

- Peso próprio da laje 1

$$PpL1 = \gamma_{ap} * esp.$$

esp. **Espessura da laje**

γ_{ap} : **Peso específico aparente do concreto armado segundo a NBR 6120/2019 (TABELA 1)**

$$PpL1 = 25 \text{ (kN/m}^3\text{)} * 0,1 \text{ (m)}$$

(observe que a espessura foi inserida em m para ficar compatível com as unidades do peso específico aparente γ_{ap} pela norma sempre é dado em kN/m³)

$$PpL1 = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

A unidade do peso próprio no caso de lajes deve ser força/área

Resolução

Ações na Laje 1:

■ permanentes:

➤ Revestimento

$$\text{Rev} = 1,4 \text{ kN/m}^2$$

Note que no caso de revestimentos de lajes, a carga já é dada em **força/área**

Não sendo necessário realização de cálculo, exceto quando for previsto em projeto arquitetônico um tipo de revestimento não especificado na tabela 4 da NBR 6120/2019

Tabela 4 – Revestimentos de pisos e impermeabilizações

Material	Espessura cm	Peso kN/m ²
Impermeabilização com manta asfáltica simples (apenas manta com 15 % de sobreposição e pintura asfáltica, sem camada de regularização nem proteção mecânica)	0,3	0,08
	0,4	0,10
	0,5	0,11
Piso elevado interno com placas de aço, sem revestimento (até 30 cm de altura)	–	0,5
Piso elevado interno com placas de polipropileno, sem revestimento (até 30 cm de altura)	–	0,15
Revestimentos de pisos de edifícios residenciais e comerciais ($\gamma_{ap-m} = 20 \text{ kN/m}^3$)	5	1,0
	7	1,4
Revestimentos de pisos de edifícios industriais ($\gamma_{ap-m} = 34 \text{ kN/m}^3$)	5	1,7
	7	2,4
Impermeabilizações em coberturas com manta asfáltica e proteção mecânica, sem revestimento ($\gamma_{ap-m} = 18 \text{ kN/m}^3$)	10	1,8
	15	2,7
NOTA Calcular caso a caso, considerando a espessura dos componentes do revestimento de pisos e seus respectivos pesos específicos. Na falta de informações mais precisas, podem ser considerados os pesos específicos médios indicados.		

Resolução

Ações na Laje 1:

■ permanentes:

➤ Forro de gesso em placas

Forro= 0,15 kN/m²

Da mesma forma que os revestimentos, os forros também já são dados em unidades de **força/área (kN/m²)**

Tabela 8 – Forros, dutos e *sprinkler*

Material	Peso kN/m ²
Forro de fibra mineral, inclui estrutura de suporte	0,10
Forro de gesso acartonado, inclui estrutura de suporte	0,25
Forro de gesso em placas, inclui estrutura de suporte	0,15
Forro de PVC, inclui estrutura de suporte	0,10
Forro de placas de alumínio, inclui estrutura de suporte	0,10
Dutos de ventilação, sem isolamento térmico	0,20
Dutos de ar-condicionado, com isolamento térmico	0,30
Rede de distribuição de chuveiros automáticos (<i>sprinkler</i>) com diâmetro nominal de até 65 mm	0,10
Rede de distribuição de chuveiros automáticos (<i>sprinkler</i>) com diâmetro nominal de até 80 mm	0,15

Resolução

Ações na Laje 1:

- Variáveis
 - Acidental de uma residência - cozinha
 - $A_{ci} = 1,5 \text{ kN/m}^2$

Cargas acidentais são dadas em **força/área (kN/m^2) de acordo com a Tabela 10 da NBR 6120/2019**, não sendo necessária a realização de cálculo para determinar a carga acidental na laje

Carga acidental depende do tipo de ocupação/uso do ambiente definido em projeto arquitetônico

	Supermercados (ver item nesta Tabela)		
Edifícios residenciais	Dormitórios	1,5	—
	Sala, copa, cozinha	1,5	—
	Sanitários	1,5	—
	Despensa, área de serviço e lavanderia	2	—
	Quadras esportivas	5 ^a	—
	Salão de festas, salão de jogos	3 ^a	—
	Áreas de uso comum	3 ^a	—
	Academia	3 ^a	—
	Forro acessíveis apenas para manutenção e sem estoque de materiais	0,1 ^{a,r}	—
	Sótão	2 ^a	—
	Corredores dentro de unidades autônomas	1,5	—
	Corredores de uso comum	3	—
	Depósitos	3	—
	Áreas técnicas (ver item nesta Tabela)		
Jardins (ver item nesta Tabela)			

Resolução

$$F_D = \sum_{i=1}^n \gamma_{gi} F_{gi} + \gamma_q (F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{qj,k})$$

(combinação normal)

$$F_d = 1,4 * (PPL1 + Rev + for) + 1,4 * Aci$$

$$F_d = 1,4 * (2,5 + 1,4 + 0,15) + 1,4 * 1,5$$

$$F_d = 7,8 \text{ kN/m}^2$$

Exemplo 2: determinação de carga na viga

Determine a carga solicitante da viga V2, sabendo que:

Reação da L1 em V2: $R_{L1} = 10,5 \text{ kN/m}$

Reação da L3 em V2: $R_{L3} = 8,7 \text{ kN/m}$

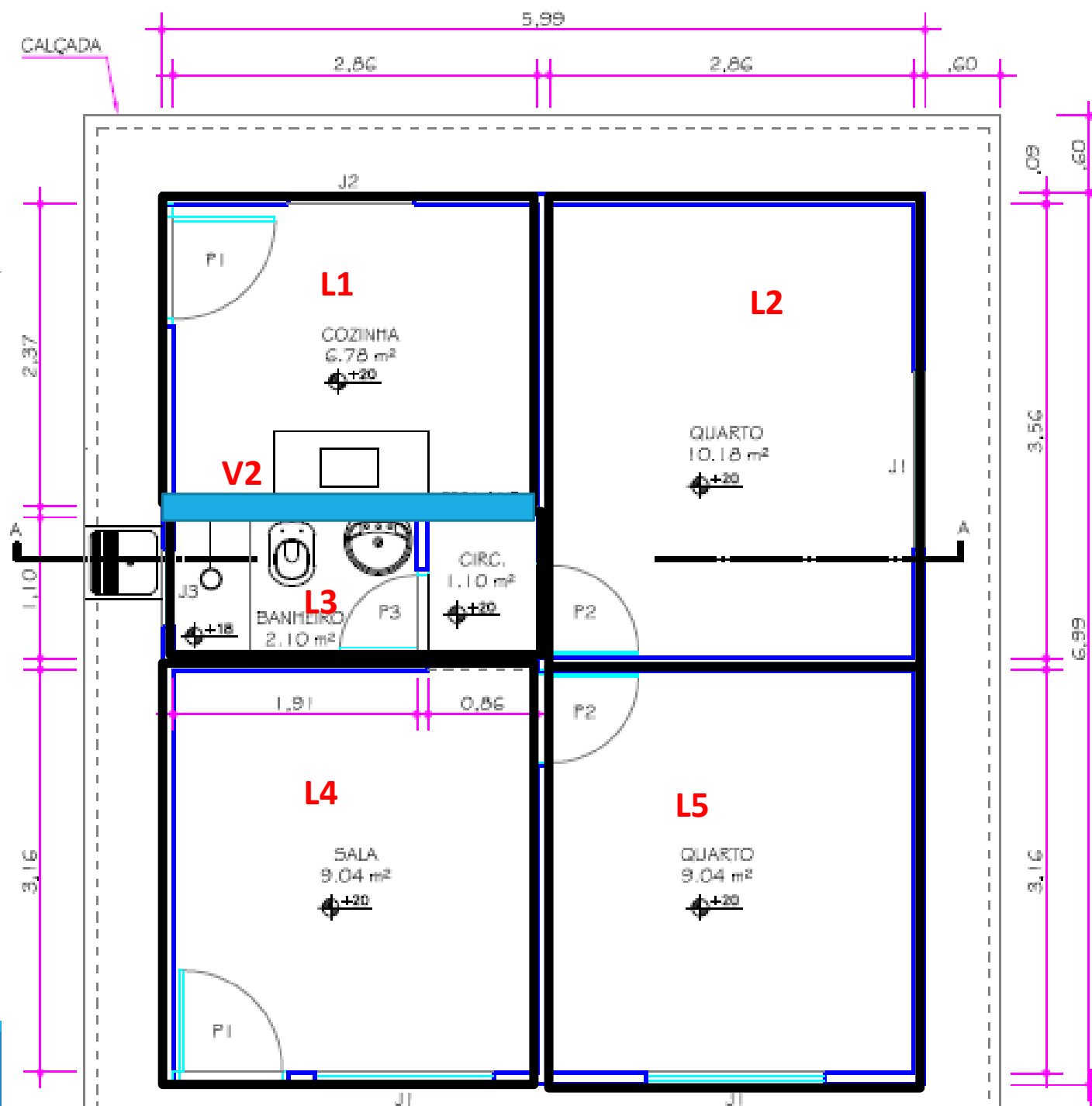
As lajes 1 e 3 são maciças e a edificação tem 4 pavimentos e é residencial

Seção da viga 2: 15 x 30 cm

Características da parede: altura (h)=2,8m, bloco cerâmico vazado com 14 cm de espessura, cada face da parede possui reboco de 1 cm

Adotar $\gamma_{ap \text{ alv.}} = 14 \text{ kN/m}^3$

Considere que as cargas das lajes L1 e L3 que geraram as reações na viga V2 ainda não foram majoradas



Resolução

Cargas atuantes na viga:

Permanentes:

- Peso próprio da viga
- Peso próprio da alvenaria e dos rebocos

Reações: permanentes + variáveis

Quadro 1.4 Valores do coeficiente $\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f3}$.

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	Desfavorável	Favorável	Geral	Temperatura	Desfavorável	Favorável	Desfavorável	Favorável
Normais	1,4*	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0

* Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Resolução

- permanentes:

- Peso próprio da viga 2

$$P_{p\ V2} = \gamma_{ap} * b_w * h$$

esp. largura da viga

h altura da viga

γ_{ap} : **Peso específico aparente do concreto armado segundo a NBR 6120/2019 (TABELA 1)**

$$P_{p\ V2} = 25 \text{ (kN/m}^3\text{)} * 0,15 \text{ (m)} * 0,3 \text{ (m)}$$

Tabela 1 (continuação)

	Material	Peso específico aparente γ_{ap} kN/m ³
3 Argamassas e concretos	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cal	12 a 18 (15)
	Argamassa de cimento e areia	19 a 23 (21)
	Argamassa de gesso	12 a 18 (15)
	Argamassa autonivelante	24
	Concreto simples	24
	Concreto armado	25

Resolução

- permanentes:

- Peso próprio da viga 2

$$P_{p\ v2} = \gamma_{ap} * b_w * h$$

esp. largura da viga

h altura da viga

γ_{ap} : **Peso específico aparente do concreto armado segundo a NBR 6120/2019 (TABELA 1)**

$$P_{p\ v2} = 25 \text{ (kN/m}^3\text{)} * 0,15 \text{ (m)} * 0,3 \text{ (m)}$$

(observe que a largura e a altura foram inseridas em **m** para ficarem compatíveis com as unidades do peso específico aparente γ_{ap} pela norma sempre é dado em kN/m^3)

$$P_{p\ v2} = 1,125 \text{ kN/m}$$

A unidade do peso próprio no caso de lajes deve ser força/comprimento

Resolução

- permanentes:

- Peso próprio da alvenaria

$$P_{p\ alv.} = \gamma_{ap} * esp * h$$

esp. **Espessura do bloco**

h altura da parede

γ_{ap} : **Peso específico aparente do bloco de alvenaria segundo a NBR 6120/2019 (TABELA 1)**

$$P_{p\ alv.} = 14 \text{ (kN/m}^3\text{)} * 0,14 \text{ (m)} * 2,8 \text{ (m)}$$

	Blocos de concreto vazados (função estrutural, classes A e B, ABNT NBR 6136)	14
	Blocos cerâmicos vazados com paredes vazadas (função estrutural, ABNT NBR 15270-1)	12
	Blocos cerâmicos vazados com paredes maciças (função estrutural, ABNT NBR 15270-1)	14
2 Blocos artificiais e pisos	Blocos cerâmicos maciços	18
	Blocos de concreto celular autoclavado (Classe C25 – ABNT NBR 13438)	5,5

Resolução

- permanentes:

- Peso próprio da alvenaria

$$P_{p \text{ alv.}} = \gamma_{ap} * esp * h$$

esp. **Espessura do bloco**

h altura da parede

γ_{ap} : **Peso específico aparente do bloco de alvenaria segundo a NBR 6120/2019 (TABELA 1)**

$$P_{p \text{ alv.}} = 14 \text{ (kN/m}^3\text{)} * 0,14 \text{ (m)} * 2,8 \text{ (m)}$$

(observe que a espessura e a altura foram inseridas em **m** para ficarem compatíveis com as unidades do peso específico aparente γ_{ap} pela norma sempre é dado em kN/m^3)

$$P_{p \text{ alv.}} = 5,49 \text{ kN/m}$$

A unidade do peso próprio no caso de lajes deve ser força/comprimento

Resolução

- permanentes:

- Peso próprio do revestimento da alvenaria

$$P_{p \text{ rev.alv.}} = \gamma_{ap} * n * h$$

n Número de faces revestidas

h altura da parede

γ_{ap} : Peso específico aparente do revestimento por face de alvenaria de acordo com a espessura do revestimento segundo a NBR 6120/2019 (TABELA 2)

Tabela 2 – Alvenarias

Alvenaria	Espessura nominal do elemento cm	Peso - Espessura de revestimento por face kN/m ²		
		0 cm	1 cm	2 cm
ALVENARIA DE VEDAÇÃO				
Bloco de concreto vazado (Classe C – ABNT NBR 6136)	6,5	1,0	1,4	1,8
	9	1,1	1,5	1,9
	11,5	1,3	1,7	2,1
	14	1,4	1,8	2,2
	19	1,8	2,2	2,6
Bloco cerâmico vazado (Furo horizontal - ABNT NBR 15270-1)	9	0,7	1,1	1,6
	11,5	0,9	1,3	1,7
	14	1,1	1,5	1,9
	19	1,4	1,8	2,3

Resolução

- permanentes:

- Peso próprio do revestimento da alvenaria

$$P_{p \text{ rev.alv.}} = \gamma_{ap} * n * h$$

n Número de faces revestidas

h altura da parede

γ_{ap} : **Peso específico aparente do revestimento por face de alvenaria de acordo com a espessura do revestimento segundo a NBR 6120/2019 (TABELA 2)**

$$P_{p \text{ rev.alv.}} = 1,5 \text{ (kN/m}^2\text{)} * 2 * 2,8 \text{ (m)}$$

(observe que a altura foi inserida em **m** para ficar compatível com a unidade do peso específico aparente γ_{ap} pela norma sempre é dado em **kN/m²**)

$$P_{p \text{ rev.alv.}} = 8,4 \text{ kN/m}$$

A unidade do peso próprio no caso de lajes deve ser força/comprimento

Resolução

$$F_{SD} = \sum_{i=1}^n \gamma_{gi} F_{gi} + \gamma_q (F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{qj,k})$$

A edificação tem apenas 4 pavimentos, não sendo necessário considerar a carga de vento. Além disso, não foi indicada nenhuma outra carga variável além da acidental (que está considerada nas reações das lajes 1 e 3)

$$F_{SD} = \gamma_g * P_{p\ v2} + \gamma_g * P_{p\ alv.} + \gamma_g * P_{p\ rev.alv.} + \gamma * R_{L1} + \gamma * R_{L3}$$

$$F_{SD} = \gamma * (P_{p\ v2} + P_{p\ alv.} + P_{p\ rev.alv.} + R_{L1} + R_{L3})$$

(porque as lajes são maciças, dessa forma $\gamma_g = \gamma$. Casos as lajes fossem pré-moldadas (ex. eps, lajota cerâmica), as reações das lajes 1 e 3 dadas já seriam majoradas)

$$F_{SD} = 1,4 * (1,125 + 5,49 + 8,4 + 10,5 + 8,7)$$

$$F_{SD} = 47,9 \text{ kN/m}$$

Resolução

$$F_{SD} = \sum_{i=1}^n \gamma_{gi} F_{gi} + \gamma_q ($$

A edificação tem apenas não foi indicada nenhuma lajes 1 e 3)

Quadro 1.4 Valores do coeficiente $\gamma_f = \gamma_{fl} \cdot \gamma_{E3}$.

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	Desfavorável	Favorável	Geral	Temperatura	Desfavorável	Favorável	Desfavorável	Favorável
Normais	1,4*	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0

* Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

$$F_{SD} = \gamma_g * P_{pV2} + \gamma_g * P_{p\text{alv.}} + \gamma_g * P_{p\text{rev.alv.}} + \gamma * R_{L1} + \gamma * R_{L3}$$

$$F_{SD} = \gamma * (P_{pV2} + P_{p\text{alv.}} + P_{p\text{rev.alv.}} + R_{L1} + R_{L3})$$

(porque as lajes são maciças, dessa forma $\gamma_g = \gamma$. Casos as lajes fossem pré-moldadas (ex. eps, lajota cerâmica), as reações das lajes 1 e 3 dadas já seriam majoradas)

$$F_{SD} = 1,4 * (1,125 + 5,49 + 8,4 + 10,5 + 8,7)$$

$$F_{SD} = 47,9 \text{ kN/m}$$

Exemplo 3: determinação de carga na viga

Determine a carga solicitante da viga V2, sabendo que:

Reação da L1 em V2: $R_{L1} = 7,6 \text{ kN/m}$

Reação da L3 em V2: $R_{L3} = 7 \text{ kN/m}$

As lajes 1 e 3 são pré-moldadas em eps e a edificação tem 4 pavimentos e é residencial

Seção da viga 2: 15 x 30 cm

Características da parede: altura (h)=2,8m, bloco cerâmico vazado com 14 cm de espessura, cada face da parede possui reboco de 1 cm

Adotar $\gamma_{ap \text{ alv.}} = 14 \text{ kN/m}^3$

as cargas das lajes L1 e L3 que geraram as reações na viga V2 já estão majoradas

Resolução

(mesmos procedimentos realizados no exemplo 2 para determinar as cargas peso próprio da viga, da alvenaria e do revestimento da alvenaria)

$$F_{SD} = \sum_{i=1}^n \gamma_{gi} F_{gi} + \gamma_q (F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{qj,k})$$

A edificação tem apenas 4 pavimentos, não sendo necessário considerar a carga de vento. Além disso, não foi indicada nenhuma outra carga variável além da acidental (que está considerada nas reações das lajes 1 e 3)

$$F_{SD} = \gamma_g * P_{pV2} + \gamma_g * P_{p\text{alv.}} + \gamma_g * P_{p\text{rev.alv.}} + R_{L1} + R_{L3}$$

(as lajes fossem pré-moldadas (ex. eps, lajota cerâmica), as reações das lajes 1 e 3 dadas estão majoradas, pois $\gamma_g \neq \gamma$)

$$F_{SD} = 1,4 * (1,125 + 5,49 + 8,4) + 7,6 + 7$$

$$F_{SD} = 35,6 \text{ kN/m}$$

Exercício

Em pleno verão europeu de 2017, alguém resolveu montar uma “piscina” em uma varanda de uma edificação residencial da figura ao lado. Admita que a edificação tenha apenas 4 pavimentos. Tomando como base as normas brasileiras e considerando que laje da figura tem 1,5 m de largura, 3 m de comprimento e 12 cm de espessura, determine:

- a) A força solicitante de projeto na laje sem considerar a carga da “piscina”
- b) A força solicitante de projeto na laje considerando a carga da “piscina”. Considere o nível da água na “piscina” de 80 cm e $\gamma_{\text{água}} = 10 \text{ kN/m}^3$



Fonte:

https://brasil.elpais.com/brasil/2017/06/19/estilo/1497881305_678826.html