

N. CLASS.	24.10242
CUTTER	5560
ANO/EDIÇÃO	2015

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG

ENGENHARIA CIVIL

FERDINANDO SILVA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA DATA DE ENTRADA DAS DIFERENTES AÇÕES
NA ESTRUTURA, PARA DETERMINAÇÃO DA DEFORMAÇÃO FINAL EM LAJES
E VIGAS DE EDIFICAÇÕES EM CONCRETO ARMADO MOLDADAS IN-LOCO**

Varginha

2015

FERDINANDO SILVA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA DATA DE ENTRADA DAS DIFERENTES AÇÕES
NA ESTRUTURA, PARA DETERMINAÇÃO DA DEFORMAÇÃO FINAL EM LAJES
E VIGAS DE EDIFICAÇÕES EM CONCRETO ARMADO MOLDADAS IN-LOCO**

Monografia apresentada ao curso Engenharia Civil do
Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como
pré-requisito para obtenção do grau de bacharelado em
Engenharia Civil sob orientação do Professor.
Ms. Antônio de Faria.

Varginha

2015

FERDINANDO SILVA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA DATA DE ENTRADA DAS DIFERENTES AÇÕES
NA ESTRUTURA, PARA DETERMINAÇÃO DA DEFORMAÇÃO FINAL EM LAJES
E VIGAS DE EDIFICAÇÕES EM CONCRETO ARMADO MOLDADAS IN-LOCO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do
Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como
pré-requisito para a obtenção do grau de bacharelado em
Engenharia Civil pela Banca examinadora compostas
pelos membros:

Aprovado em 01 / 12 / 2015

Prof. Ms. Antônio de Faria

Prof. Ms. Armando Belato Pereira

Prof. Dr. Luciana Bracarense Coimbra Veloso

OBS.:

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, amigo sempre presente, sem o qual nada teria feito.

Minha família por todo apoio, por sempre incentivarem meus sonhos e estarem sempre ao meu lado.

Ao professor Antônio de Faria, pela oportunidade de orientação, ensinamentos, incentivo, paciência e muita dedicação. E aos demais professores que fizeram parte da minha formação. Obrigado por tudo.

Para avaliar a eficácia e de que tipo, a maioria dos estudos a nível mundial, todavia, utiliza um processo comum referido na literatura, mas metodologicamente avulso para a investigação científica sobre a aprendizagem, não se lidando a entrada pedagógica dos materiais de aprendizagem e da aprendizagem, a nível de aprendizagem e de modo a estudar apenas a avaliação de aprendizagem. Isto implica não se aguçarem os conhecimentos de resultados da aprendizagem após a aprendizagem para tal, enquanto a aprendizagem em si, a nível de aprendizagem, não se leva em consideração. Assim, ao utilizar a avaliação de aprendizagem para avaliar a aprendizagem, a avaliação de aprendizagem não leva em consideração a aprendizagem em si, a nível de aprendizagem, e a avaliação de aprendizagem não leva em consideração a aprendizagem em si, a nível de aprendizagem, e a avaliação de aprendizagem não leva em consideração a aprendizagem em si, a nível de aprendizagem.

Falamos também de uma avaliação de aprendizagem de aprendizagem.

“O que sabemos é uma gota; o que ignoramos é um oceano.”

Isaac Newton

RESUMO

Para a análise estrutural é de extrema importância considerar a influência de todas as ações que possam causar efeitos na estrutura. Nas metodologias atuais de avaliação das deformações sofridas pelas lajes e vigas, não consideram a entrada gradativa das parcelas do carregamento total da estrutura; e sim que todo o carregamento está atuando na estrutura a partir da retirada do escoramento. Este trabalho visa apresentar um comparativo do resultado das deformações em lajes e vigas, para tal, será utilizado o estudo em uma laje e uma viga de uma edificação comercial modelo proposta. Inicialmente considerando que estrutura é carregada em apenas um instante; e posteriormente comparado a uma estrutura considerando a entrada das cargas em tempos diversos, no qual leva-se em conta um cronograma de obras. Assim, ao avaliar o atual método utilizado para obtenção da flecha final; pondo-se a prova o método da NBR 6118 a fim de comprovar a importância de um processo de cálculos mais detalhado a fim de otimizar a prática desse tipo de projeto na Engenharia.

Palavras-chave: Lajes e Vigas. Deformação. Flecha final.

ABSTRACT

For structural analysis it is of utmost importance to consider the influence of any actions that may cause effects on the structure. In the current assessment methodologies deformation suffered by slabs and beams, do not consider the gradual entry of the installments of the total load of the structure; but the whole load is acting in the framework of the withdrawal of shoring. This paper presents a comparison of the results of deformations in slabs and beams to this end, the study on a slab and a beam of a commercial building proposed model will be used. Initially considering that structure is loaded in an instant; and subsequently compared to a structure considering the entry of loads at different times, which takes into account a work schedule. Thus, in assessing the current method used to obtain the final arrow; putting to test the NBR 6118 method to prove the importance of a process of more detailed calculations to optimize the practice of this type of project in Engineering.

Keyword: *Slabs and beams. Deformation. End arrow.*

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de coeficientes γ_n	20
Tabela 2. Resumo das diretrizes das cargas acidentais segundo NBR 6120:1980	21
Tabela 3. Valores do Coeficiente $\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f3}$	23
Tabela 4. Coeficientes de ponderação γ_D	23
Tabela 5. Valores do coeficiente ξ em função do tempo	36
Tabela 6. Resumo para todos os momentos atuantes na laje	48
Tabela 7. Somatório das flechas ações permanentes.	60
Tabela 8. Somatório das flechas ação quase permanente.	66
Tabela 9. Somatório das flechas carga rara.	71
Tabela 10. Comparativo da flecha devido a ação variável com, e sem um calendário de execução.	72
Tabela 11. Reação da laje na viga carregamento total.	74
Tabela 12. Reação da laje na viga ações permanentes	77
Tabela 13. Reação da laje na viga ações quase permanentes.	80
Tabela 14. Reação da laje na viga ação rara	83
Tabela 15. Somatório das flechas ações permanentes.	92
Tabela 16. Somatório das flechas ação rara	108
Tabela 17. Comparativo da flecha devido a ação rara, considerando dimensionamento com, e sem um calendário de execução	108
Tabela 18. Comparativo modo que considera a atuação do carregamento todo após retirada escoramento, com o cronograma I que considera entrada das ações em tempos diversos. ...	110
Tabela 19. Comparativo modo que considera a atuação do carregamento todo após retirada escoramento, com o cronograma II que considera entrada das ações em tempos diversos. ..	111
Tabela 20. Comparativo modo que considera a atuação do carregamento todo após retirada escoramento, com o cronograma III que considera entrada das ações em tempos diversos. .	113
Tabela 21. Comparativo modo que considera a atuação do carregamento todo após retirada escoramento, com o cronograma IV que considera entrada das ações em tempos diversos. .	114
Tabela 22. Comparativo modo que considera a atuação do carregamento todo após retirada escoramento, com o cronograma V que considera entrada das ações em tempos diversos. ...	115
Tabela 23. Comparativo entre as dimensões usada no comparativo com a que passa em todas as verificações.	116

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A' : Área da seção transversal da armadura longitudinal de compressão.

A/c : Fator água cimento

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC: Área da seção transversal

bd : Área comprimida de concreto

E_c : Módulo de elasticidade do concreto

E_{ci} : Módulo de elasticidade tangente inicial do concreto

E_{cs} : Módulo de elasticidade secante do concreto

ELS: Estado Limite de Serviço

ELU: Estado Limite Último

E_s : Módulo de elasticidade do aço

$f_{ct,f}$: Resistência à tração na flexão

f_{ct} : Resistência do concreto à tração direta

f_{ck} : Resistência característica de tensão do concreto

$f_{ctk,inf}$: Quantil inferior da resistência do concreto à tração

$f_{ctk,sup}$: Quantil superior da resistência do concreto à tração

$f_{ct,m}$: Resistência média do concreto à tração

$f_{ct,sp}$: Resistência à tração indireta

I_C : Momento de inércia da seção bruta de concreto

I_I : Momento de inércia no estágio I

I_{II} : Momento de inércia da seção fissurada de concreto no estágio II.

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

l : E o menor vão da laje considerada.

l_x : E a menor das dimensões da superfície da placa;

l_y : E a maior das dimensões da superfície da placa

M_a : Momento fletor na seção crítica do vão considerado

M_r : Momento de fissuração do elemento estrutural

NBR: Norma Brasileira Regulamentadora

p' : Taxa geométrica da armadura longitudinal de compressão

P_i : Representação das parcelas de carga

t : Idade final

t_0 : Idade inicial

t_{oi} : Idade de aplicação de cada parcela P_i , expressa em meses.

t_{∞} : Tempo infinito

TCC: Trabalho de Conclusão de Curso

u : Perímetro da seção em contato com a atmosfera

α_f : Coeficiente de fluência

γ_f : Coeficiente de ponderação

γ_n : Coeficiente de majoração adicional das ações

ϵ_{cc} : Deformação por fluência do concreto

ϵ_{cca} : Deformação rápida

ϵ_{ccd} : Deformação lenta reversível

ϵ_{ccf} : Deformação lenta irreversível

λ : Índice de esbeltez

ψ_0 : Fator de redução de combinação para ELU

ψ_1 : Fator de redução de combinação frequente para ELS

ψ_2 : Fator de redução de combinação quase permanente para ELS

α : É o fator que correlaciona aproximadamente a resistência á tração na flexão com a resistência á tração direta.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa	13
2	OBJETIVO	14
2.1	Objetivo geral.....	14
3	METODOLOGIA DE ESTUDO	15
4	LAJES E VIGAS	16
4.1	Laje	16
4.2	Viga.....	17
5	AÇÕES NA ESTRUTURA	18
5.1	Critérios para determinação das ações.....	18
5.2	Ações que atuam nas estruturas.....	18
5.3	Ações permanentes.....	19
5.4	Ações variáveis.....	20
5.5	Coefficientes de ponderação das ações	22
6	DEFORMAÇÕES DO CONCRETO	24
6.1	Resistência à compressão do concreto.....	24
6.2	Resistência do concreto à tração	24
6.2.1	Ensaio da tração direta.....	24
6.2.2	Ensaio de tração na compressão diametral	25
6.2.3	Resistência a tração na flexão	25
6.2.4	Relação entre os resultados dos ensaios	25
6.3	Fluência do concreto	26
6.4	Retração do concreto	27
6.5	O efeito da temperatura e da umidade na fluência e na retração do concreto.....	28
7	OBTENÇÃO DA DEFORMAÇÃO	31
7.1	Determinação do momento de fissuração e ELS.....	31
7.2	Cálculos das flechas imediatas.	33
7.3	Cálculo da flecha ao longo de vigas e lajes de concreto armado.....	35
7.4	Flechas em lajes e vigas com armaduras ativas conforme a NBR 6118: 2014.....	37
8	CRONOGRAMA DO CARREGAMENTO NAS ESTRUTURAS	38
9	RETIRADA DO ESCORAMENTO	40
9.1	Cimbramento	40
10	EDIFICAÇÃO PROPOSTA	42
11	ESTUDO DE CASO	43
11.1	Dimensionamento da laje maciça.....	43
11.1.1	Verificação do módulo de elasticidade.....	45
11.1.2	Determinações dos momentos máximos nas direções x e y	46
11.1.3	Determinação da altura mínima e cálculos das armaduras.	47
11.1.4	Determinação da armadura mínima para os momentos positivos e negativos	48
11.1.5	Cálculos para obtenção das inércias	48
11.1.6	Determinação da flecha para as cargas permanentes, sem considerar um calendário de execução	49

11.1.7	Determinação da flecha para as cargas quase permanentes, sem considerar um calendário de execução	51
11.1.8	Determinação da flecha para a carga rara, sem considerar um calendário de execução.....	54
11.1.9	Determinação da flecha para a ação variável, sem considerar um calendário de execução	56
11.1.10	Verificação ao cisalhamento	57
11.1.11	Determinação da flecha para as cargas permanentes, considerando um calendário de execução	57
11.1.12	Determinação da flecha para as cargas quase permanentes, considerando um calendário de execução.	61
11.1.13	Determinação da flecha para a carga rara, considerando um calendário de execução.....	66
11.1.14	Determinação da flecha para a ação variável, considerando um calendário de execução.....	71
11.2	Dimensionamento da viga V1	72
11.2.1	Determinações da área de aço.....	74
11.2.2	Para verificação do módulo de elasticidade:.....	75
11.2.3	Cálculos para obtenção das inércias:.....	76
11.2.4	Determinação da flecha para as ações permanentes, considerando a atuação das cargas todas após a retirada do escoramento.....	77
11.2.5	Determinação da flecha para as ações quase permanentes, considerando a atuação das cargas todas após a retirada do escoramento.....	80
11.2.6	Determinação da flecha para a carga rara, considerando a atuação das cargas todas após a retirada do escoramento.....	83
11.2.7	Determinação da flecha para a ação variável, considerando a atuação das cargas todas após a retirada do escoramento.....	85
11.2.8	Determinação da cortante reduzida e verificação do concreto.	86
11.2.9	Determinações da flecha para as ações permanentes, considerando um calendário de execução.....	86
11.2.10	Determinações da flecha para as ações quase permanentes, considerando um calendário de execução	93
11.2.11	Determinações da flecha para a ação rara, considerando um calendário de execução.....	100
11.2.12	Determinação da flecha para a ação variável, considerando um calendário de execução.....	108
12	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	110
12.1	Cronograma I.....	110
12.2	Cronograma II.....	111
12.3	Cronograma III	112
12.4	Cronograma IV.....	114
12.5	Cronograma V	115
12.6	Seção alterada	116
13	CONCLUSÃO	118
	REFERÊNCIAS	119
	ANEXO A – Projeto arquitetônico do 1º pavimento	120
	ANEXO B – Projeto arquitetônico do 2º pavimento	122

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como finalidade fornecer um embasamento teórico acerca do tema, para determinar os fatores que provocam deformações em lajes e vigas e a importância de se considerar um cronograma de entrada de cargas nas estruturas. Realizando-se um comparativo da viabilidade de se considerar um cronograma de entrada de cargas nas estruturas, como o método convencional que considera a atuação das cargas todas em um só instante após a retirada do escoramento.

Segundo AL-MANASSEER; LAM, (2005), o comportamento do concreto ao longo do tempo devido a fluência e a retração, são responsáveis por considerável influência no desempenho das estruturas em concreto, podendo ocasionar deformações excessivas e até mesmo a redistribuição das tensões.

A fluência e retração do concreto em geral comprometem a durabilidade, as condições em serviço, a integridade das estruturas e a estabilidade da mesma. Desta forma o conhecimento dessas propriedades e de grande importância no desenvolvimento dos projetos.

É de extrema importância que se tenha o conhecimento da atuação das cargas, para a realização de uma apuração minuciosa das cargas aplicadas, e uma avaliação do tempo em que os carregamentos começaram a agir nas estruturas.

O processo de determinação da flecha em lajes e vigas apresenta várias formas de se calcular de acordo com as bibliografias estudadas. Essas informações permitem um dimensionamento tendo como base os processos mais simplificados, que trabalhem a favor da segurança. Embora se reconheça que grandes avanços foram realizados desde do início dos estudos, ainda existe inúmeros métodos de análise estrutural que podem ser utilizados pelos profissionais de engenharia, sendo eles os principais fatores para ocorrência de várias soluções estruturais.

1.1 Justificativa

As lajes e vigas são elementos estruturais que compõem uma estrutura. E o uso desses sistemas moldados “in loco” está cada vez mais difundido, uma vez que apresentam bom desempenho em relação aos demais sistemas.

Logo este trabalho tem por finalidade estabelecer a importância do uso cronogramas de execução que serão adotados para consideração dos tempos diversos de atuação das variadas e cargas em lajes e vigas. Em seguida utilizar análises diferentes para avaliar e comparar os resultados obtidos, procurando provar que se pode utilizar novas formas de cálculo que atendam as normas vigentes, através de métodos e análise distintas.

Pois a avaliação da estrutura em serviço de extrema importância para o bom funcionamento da edificação. Por esse motivo cada vez mais as normas vêm exigindo um estudo detalhado de todas as deformações sofridas pelas estruturas no estado de serviço fissuração, deformações excessivas e vibrações. Segundo CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014), o cálculo ou dimensionamento de uma estrutura deve garantir que ela resista de maneira segura estável e com deformações que atendam aos limites normativos, todas as solicitações em que a estrutura será submetida durante a sua execução de sua utilização.

Dentro dessa ótica, se faz necessário um estudo mais detalhado para avaliar o método que considera a estrutura carregada todo de uma vez após retirada do escoramento, e a forma que consideração um cronograma de obras com entrada das cargas e tempos distintos.

2 OBJETIVO

Os objetivos deste estudo serão apresentados da seguinte maneira:

2.1 Objetivo geral

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo realizar um comparativo quanto ao dimensionamento de lajes e vigas, de uma estrutura convencional, avaliando ELS e analisando a fluência. Levando em consideração o carregamento da estrutura com um calendário de execução e sem um calendário de execução.

Este trabalho foi desenvolvido em duas etapas:

Etapa I:

- a) Caracterizar e identificar os aspectos normativos a serem adotados em lajes e vigas fontes desse estudo;
- b) Determinação das ações que podem atuar nas estruturas;
- c) Caracterizar os esforços que atuam nas lajes e vigas;
- d) Buscar dados para dimensionamento e análise do estado limite de serviço, em normas e entidades competentes.
- e) Realizar um estudo perante as normas, voltado a fluência e retração presente em lajes e vigas, formas de previsão e cálculos.
- f) Apresentar um projeto arquitetônico para realização do estudo de caso;

Etapa II:

- a) Estabelecer cronogramas de execução para determinar as datas de entrada dos carregamentos nas lajes e vigas;
- b) Realizar o dimensionamento das lajes e vigas do modo convencional que avalia a entrada de carregamento todo após a retirada do escoramento;
- c) Realizar o dimensionamento das lajes e vigas levando em consideração um calendário de entrada das cargas;
- d) Apresentar a análise comparativa na abordagem dos métodos de cálculo;
- e) Apresentar os resultados obtidos do comparativo.

3 METODOLOGIA DE ESTUDO

A metodologia utilizada para desenvolvimento deste trabalho abrange, de uma forma geral: a pesquisa bibliográfica referente a análise da interferência das cargas nos variados tempos na flecha final de lajes e vigas. Utilizando-se de pesquisas em livros, artigos científicos, dissertações e teses, monografias, apostilas técnicas, arquivos virtuais de fontes confiáveis e de credibilidade; bem como as normas técnicas da ABNT.

O método proposto neste trabalho é comparar duas formas de se analisar as cargas que atuam em uma estrutura, o método que prevê todas as cargas atuantes logo após a remoção das escoras, e o outro que considera a entrada gradativa dessas mesmas cargas via um cronograma de entrada de ações.

Realizando o dimensionamento da estrutura no estado limite de serviço, no estado limite de utilização e calculando a flecha no modo convencional, que considera o carregamento atuando todo na estrutura a partir da retirada do escoramento. E realizar o dimensionamento da estrutura levando em consideração um calendário de entrada das cargas obtendo uma flecha para cada tempo atuação da carga, após realizar os cálculos comparar com método convencional de obtenção da flecha e constatar se considerar entrada gradativa reduz a flecha final.

O estudo foi realizado em duas partes; na fase inicial, ao longo do primeiro semestre de 2015 com intuito de obter um fundamento teórico acerca do assunto, e teve seu encerramento no segundo semestre com um comparativo entre as duas situações de considerar o carregamento da estrutura.

4 LAJES E VIGAS

As lajes são estruturas horizontais e planas que são usadas para fazer a transferência das suas ações para as vigas, elas têm também o papel de ser usadas para cobertura. As lajes aumentam o conforto, o valor e a segurança das edificações.

Já as vigas, consistem em elementos estruturais que tem por finalidade transferir cargas das lajes para os pilares, ou ainda, de uma carga que esteja concentrada, caso esteja servindo de apoio a um pilar.

4.1 Laje

A finalidade receber as ações que nela chegam e transmiti-las para as vigas, ou em casos especiais para os pilares. A laje tem por finalidade servir de cobertura, forro ou piso para as edificações. As lajes maciças são utilizadas em vários tipos de edificações, de residências a edificações de múltiplos andares. Consiste na utilização de fôrmas e escoras para sustentar o concreto armado durante o processo da cura.

Segundo PINHEIRO (2003) “Lajes são elementos planos, em geral horizontais, com duas dimensões muito maiores que a terceira, sendo esta denominada espessura. A principal função das lajes é receber os carregamentos atuantes no andar, provenientes do uso da construção (pessoas, móveis e equipamentos), e transferi-los para os apoios. Nos edifícios usuais, as lajes maciças têm grande contribuição no consumo de concreto aproximadamente 50% do total”. (FERNANDES e GALETTI *apud* PINHEIRO 2003, p.8)

A laje maciça é um dos sistemas estruturais mais utilizados em obras de médio a grande porte. Uma das características desse tipo laje é que elas distribuem suas reações em todas as vigas de contorno, diferente das lajes pré-moldadas. Assim há melhor aproveitamento das vigas do pavimento, pois todas podem ter cargas da mesma ordem de grandeza, dependendo apenas dos vãos. Segundo CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) outra vantagem está na facilidade em colocar, antes da concretagem, tubulações elétricas ou outros tipos de instalações.

CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) destacam a grande parcela no custo final, que as fôrmas utilizadas nesse tipo de laje apresentam. Porém, quando há múltiplos andares, o custo do pavimento diminui consideravelmente com a reutilização do mesmo jogo de escoras e fôrmas várias vezes.

Uma das desvantagens que é um sistema que não permite muita mobilidade na escolha de vãos, devido ao seu peso próprio em tese adotam-se vãos na ordem de até 6,00 m.

4.2 Viga

As vigas são elementos bidimensionais (barra) que tem por finalidade vencer os vãos entre os pilares, apoiar às lajes, às alvenarias de tijolos e, eventualmente, outras vigas, e é solicitado predominantemente à flexão e seus momentos fletores. Além de transferir para os pilares o peso da alvenaria apoiada diretamente sobre ela e as reações das lajes.

A NBR 6118:2014, define as vigas como elementos lineares, em que a flexão é predominante. Há também as solicitações oriundas das tensões tangenciais da ação da força cortante e geralmente servem de apoio para lajes e paredes, afim de conduzir suas cargas até os pilares.

Este tipo de elemento pode ser analisado conforme o tipo de apoio. Sendo que, o mais habitual é que essas vigas se apoiem sobre pilares ou mesmo sobre outras vigas.

É comum que se utilizar-se da discretização de grelhas e engastamentos junto aos apoios, em função da rigidez e do comprimento da barra da grelha nestes apoios.

5 AÇÕES NA ESTRUTURA

Denominam-se ações, tudo que influência ou todo conjunto de influências, que são capazes de produzirem estados de tensões ou deformações nas estruturas.

Para a análise estrutural, deve-se levar em consideração a influência de todas as ações que possam causar efeitos significativos para a segurança da estrutura em análise, respeitando os possíveis estados limites últimos e os de serviço.

Considera-se as ações permanentes, variáveis e excepcionais; sendo que para cada tipo de construção as ações a serem consideradas devem respeitar as suas particularidades e as normas as quais se aplicam.

5.1 Critérios para determinação das ações.

Para uma estrutura ser considerada segura durante sua vida útil, ela deve apresentar condições de suportar todas as ações, com as intensidades nas condições mais desfavoráveis, sem que a estrutura atinja seu estado de limite, tanto imediato ou em longo prazo.

Quando a estrutura chega ao seu estado limite último ela perde sua estabilidade por esse motivo faz tão necessário o conceito segurança. Não é aceitável que a estrutura vibre e deforme de forma excessivas, mesmo que ainda não aja risco de colapso.

Para que se possa garantir a segurança das estruturas como um todo, ou em cada uma de suas partes, levando em consideração os estados limites últimos (ELU) e de serviço (ELS), e de extrema necessidade que se cumpra três etapas: dimensionamento, verificação e detalhamento.

Para o ELU, deve procurar garantir a segurança adequada, além disso é necessário que se garanta uma boa ductilidade, para que em caso de uma eventual ruína, ela ocorra de forma avisada, para que se de tempo alertar os usuários. No estado ELS, devem ser consideradas expressões analíticas de segurança durante o processo construtivo. O modelo usado para esta verificação se difere das usadas para o ELU.

5.2 Ações que atuam nas estruturas

Ações são elementos que provocam esforços ou deformações nas estruturas. No ponto de vista prático, as forças e as deformações impostas pelas ações são consideradas como se fossem as próprias ações.

A ABNT NBR 8681:2003 faz a classificação das ações em permanente, variáveis e excepcionais para cada tipo de edificação deve se considerar as ações com suas particularidades e as normas aplicáveis. As ações decorrentes em uma laje e viga fazem com que a estrutura trabalhe.

De acordo com a ABNT NBR8681, tem-se:

Ações permanentes: Ações que ocorrem com valores constantes ou de pequena variação em torno de sua média, durante praticamente toda a vida da construção. A variabilidade das ações permanentes é medida num conjunto de construções análogas.

Ações variáveis: Ações que ocorrem com valores que apresentam variações significativas em torno de sua média, durante a vida da construção.

Ações excepcionais: Ações excepcionais são as que têm duração extremamente curta e muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, mas que devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas.

Cargas acidentais: Cargas acidentais são as ações variáveis que atuam nas construções em função de seu uso (pessoas, mobiliário, veículos, materiais diversos etc.). (NBR 8681, 2003, p. 3).

5.3 Ações permanentes

As ações permanentes são classificadas em indiretas ou diretas, e devem ser considerados os valores que sejam mais desfavoráveis. As ações indiretas são as que são causadas por retração e por fluência no concreto, os deslocamentos no apoio, as imperfeições na sua geometria tanto a global como a local. Já as ações permanentes diretas são as que constituem para o peso próprio da estrutura e dos seus elementos construtivos e as suas instalações permanentes. Para as construções atuais permite-se que o peso próprio seja avaliado com uma massa específica de 2400 kg/m^3 que é adota-se para concretos simples, e para concretos armado ou pretendido de 2500 kg/m^3 , esses valores, também como as massas dos materiais de construções mais usuais, são fornecidos na ABNT NBR 6120:1980.

Nas cargas permanentes entra o peso próprio dos elementos estruturais que são as cargas g_1 (peso próprio da estrutura). Atua também o peso próprio dos elementos não estruturais que são as cargas g_2 sobrecarga permanente (revestimento das paredes, do forro e do piso) que não têm função estrutural mais está atuando diretamente na edificação. O peso próprio da laje e viga varia de acordo com a sua espessura.

No item 13.2.4.1 da ABNT NBR 6118:2014 temos alguns parâmetros de valores limites a serem adotados para espessuras de lajes maciças:

Nas lajes maciças devem ser respeitados os seguintes limites mínimos para a espessura:

- a) 7 cm para cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- e) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- f) 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de $\frac{l}{42}$ para lajes de piso biapoiadas e $\frac{l}{50}$ para lajes de piso contínuas;
- g) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

No dimensionamento das lajes em balanço, os esforços solicitantes de cálculo a serem considerados devem ser multiplicados por um coeficiente adicional γ_n , de acordo com indica a tabela 13.2 (NBR 6118, 2014, p. 74).

Para lajes em balanço com espessura inferior a 19,0 cm a NBR 6118 apresenta um coeficiente de majoração adicional das ações, mostrados na tabela 1 abaixo:

Tabela 1. Valores de coeficientes γ_n

h (cm)	≥ 19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45

Onde:

$$\gamma_n = 1,95 - 0,05 h;$$

h é a altura da laje, expressa em centímetros (cm).

NOTA: O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo nas lajes em balanço, quando de seu dimensionamento.

Fonte: NBR 6118:2014, p. 74

As ações entram na estrutura de acordo com o tempo de execução da edificação, a primeira ação que começa a atuar e peso próprio dos elementos, peso da laje e da viga que varia de acordo com a sua seção. E em seguida, as ações das paredes divisórias, que variam conforme o tempo, inicia-se com a ação dessa carga sobre a laje, ou seja, tempo que se leva da laje concretada até a construção das paredes. E depois entram em ação as cargas de revestimento tanto das paredes como o piso e o forro e encerrando a sobrecarga de utilização.

5.4 Ações variáveis

As ações variáveis são subdivididas em diretas e indiretas. Temos então, pela NBR 6118 (2014, p. 61) no item 11.4.1 que as ações variáveis diretas "[...] são constituídas pelas cargas acidentais previstas para o uso da construção, pela ação do vento e da água, devendo-se respeitar as prescrições estabelecidas por Normas Brasileiras específicas".

As cargas acidentais de utilização previstas para uma edificação são divididas:

- cargas de uso da edificação a qual inclui-se (pessoas, veículos, materiais diversos e mobiliários entre outros);
- cargas que se movem pela estrutura, levando em consideração o impacto vertical;
- impacto lateral;
- forças de atuação longitudinal de frenação ou aceleração; e
- força centrífuga.

(NBR 6118, 2014, p. 61)

Os valores a serem considerados nas estruturas são prescritas pela norma ABNT NBR 6120:1980 no item 2.2.1.2, as cargas acidentais devem ser consideradas, exceto em casos especiais, e devem ser uniformemente distribuídas em toda a área, tendo valores mínimos a serem considerados. Alguns valores são apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Resumo das diretrizes das cargas acidentais segundo NBR 6120:1980

Local	Carga (kN/m²)
Residência- dormitório, copa, cozinha e banheiro	1,5
Forros não destinados a depósitos	0,5
Dispensa, área de serviço, lavanderia e dependência de escritório	2,0
Compartimentos destinados a reunião ou ao acesso público	3,0
Compartimentos destinados a bailes, ginástica ou esportes	5,0
Escadas, corredores e terraços com acesso ao público	3,0
Escadas, corredores e terraços sem acesso ao público	2,0
Lojas	2,0
Academia	5,0

Fonte: O autor

Essas cargas devem ser consideradas nas posições mais desfavoráveis para o elemento que está se fazendo o estudo exceto em simplificações permitidas pelas normas brasileiras específicas. A ABNT NBR 6123:1988 obriga levar em consideração a ação do vento, sendo determinadas de acordo com que está prescrito na mesma, permitindo simplificações por Normas Brasileiras específicas. De acordo com as ações variáveis que possam vir a atuar durante a construção no item 11.4.1.4 da ABNT NBR 6118:2014 especifica que:

As estruturas em que todas as fases construtivas não tenham sua segurança garantida pela verificação da obra pronta devem ter, incluídas no projeto, as verificações das fases construtivas mais significativas e sua influência na fase final. A verificação de cada umas dessas fases deve ser feita considerando a parte da estrutura já executada e as estruturas provisórias auxiliares com os respectivos pesos próprios. Além disso, devem ser consideradas as cargas acidentais de execução. (NBR 6118, 2014, p. 62)

Já quanto às ações variáveis indiretas, ainda dentro da NBR 6118, extraímos:

A variação da temperatura da estrutura, causada globalmente pela variação da temperatura da atmosfera e pela insolação direta, é considerada uniforme. Ela depende do local de implantação da construção e das dimensões dos elementos estruturais que a compõem.

De maneira genérica podem ser adotados os seguintes valores:

- a) para elementos estruturais cuja menor dimensão não seja superior a 50 cm, deve ser considerada uma oscilação de temperatura em torno da média de 10 °C a 15°C;
- b) para elementos estruturais maciços ou ocos, com os espaços vazios inteiramente fechados, cuja menor dimensão seja superior a 70 cm, admite-se que essa oscilação seja reduzida respectivamente para 5 °C a 10°C; e
- c) para elementos estruturais cuja menor dimensão esteja entre 50 cm e 70 cm, admite-se interpolação linear entre os valores indicados. (NBR 6118, 2014, p. 62)

A opção pela escolha entre os limites superior se inferior de cada caso pode ser feita levando em consideração 50% da diferença das temperaturas médias de verão e inverno, no local da construção da edificação. Para edifícios de múltiplos andares, as exigências construtivas prescritas na ABNT NBR 6118:2014 devem ser respeitadas para que sejam minimizados os efeitos da temperatura na edificação.

5.5 Coeficientes de ponderação das ações

Os coeficientes de ponderação das ações têm por finalidade majorar os valores representativos das ações que provocam efeitos desfavoráveis nas estruturas, e minorar os que provocam efeitos favoráveis. A NBR 6118:2014 em seu item 11.7 especifica que as ações devem ser majoradas pelo coeficiente de ponderação γ_f , que são obtidos pelo produto de três outros:

$$\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \cdot \gamma_{f3}$$

Onde:

γ_{f1} : Considera a variabilidade das ações;

γ_{f2} : Considera a simultaneidade de atuação das ações ($\gamma_{f2} \rightarrow \Psi_0 + \Psi_1 + \Psi_2$);

γ_{f3} : Faz a consideração de possíveis erros na avaliação dos efeitos das ações, seja os gerados nas construções, ou por deficiência do método de cálculo que foi empregado,

Esses valores são fornecidos pelas tabelas da NBR 6118:2014, no item 11.7.1; e são mostrados nas tabelas 3 e 4:

Tabela 3. 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	
	D	F	G	T	D	F	D	F
Normais	1,4 ^a	1	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1	1,2	1	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1	1	0	1,2	0,9	0	0

Fonte: NBR 6118:2014, p. 65

Tabela 4. Coeficientes de ponderação γ_{f2}

Ações		γ_{f2}		
		ψ_0	ψ_1^a	ψ_2
Cargas acidentas 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 ^b	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 elevada concentração de pessoas ^c	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

^a Para os valores de ψ_1 relativos às pontes e principalmente para os problemas de fadiga, ver Seção 23.

^b Edifícios residenciais.

^c Edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos.

Fonte: NBR 6118:2014, p. 65

Onde:

Ψ_0 : E o fator de redução para a combinação do estado limite-último;

Ψ_1 : E o fator de redução para a combinação frequente do estado limite de serviço;

Ψ_2 : E fator de redução para a combinação quase permanentes para o estado limite de serviço.

6 DEFORMAÇÕES DO CONCRETO

O concreto quando submetido a carregamento, como em vários outros materiais, sofre deformações as quais podem ser reversíveis, ou não, pois dada a intensidade dessa carga, o concreto pode passar do regime elástico (neste ao cessar a aplicação da carga, ele se recupera integralmente) para o regime plástico (onde as deformações tornam-se permanentes).

As estruturas sobre com efeito da fluência, que é o aumento das deformações ao decorrer do tempo sob a ação de tensões permanentes ou sob as ações das cargas. Os principais fatores que ocasiona a fluência e umidade do ambiente e a temperatura em que peça está envolvida.

Outro efeito ocorre na estruturas e retração que é a diminuição do volume da peça durante o processo de secagem, devido a diminuição do volume de água dos poros.

6.1 Resistência à compressão do concreto

A resistência à compressão do concreto via de regra é caracterizada pelo projeto, porém deve atender às especificações da NBR 6118: 2014, onde a partir da resistência característica (f_{ck}), onde são definidas as classes para os concretos, no item 8.2.1 da mesma. Essa classificação segue as prescrições de acordo com a ABNT NBR 8953:2015, que são caracterizados da seguinte maneira:

Para grupos I são os concretos da classe C20 até C50, em se tratam de concretos estruturais, e para o grupo II que compreende os concretos C55 até C90, sendo os números indicadores representantes da resistência característica à compressão especificada em MPa para a idade de 28 dias.

6.2 Resistência do concreto à tração

Para se obter o resultado a tração do concreto depende do tipo de concreto, e do ensaio realizado. Há três tipos de ensaio normatizados:

6.2.1 Ensaio da tração direta

O ensaio de resistência a tração direta f_{ct} , que é realizado aplicando-se uma tração axial em um corpo-de-prova de concreto simples, até que ele venha se romper. Eles apresentam uma

seção retangular, medindo nove centímetros por quinze centímetros, e suas extremidades são quadradas, com 15 cm de lado.

6.2.2 Ensaio de tração na compressão diametral

É um dos ensaios mais utilizados, por ser mais simples de ser executado. Este ensaio é conhecido internacionalmente como Ensaio Brasileiro, pois foi desenvolvido por Lobo Carneiro, em 1943.

Para a realização deste ensaio, o corpo de prova cilíndrico de 15 cm por 30 cm é colocado no eixo horizontal entre os pratos da prensa onde é aplicada uma força até que o corpo-de-prova venha se romper por tração indireta (ruptura por fendilhamento).

O valor da resistência a tração por compressão diametral, $f_{ct,sp}$, obtido a partir deste ensaio, é um pouco maior que o encontrado no ensaio de tração direta. Esse ensaio de compressão diametral é de simples execução e fornece resultados mais uniformes do que os ensaios de tração direta.

6.2.3 Resistência a tração na flexão

Para se determinar a resistência do concreto a tração na flexão $f_{ct,f}$, utiliza-se corpos de prova com seções prismática e submetendo-os à flexão com carregamentos em duas seções simétricas até sua ruptura.

Os valores obtidos na resistência a tração na flexão ($f_{ct,f}$), são maiores do que os ensaios descritos anteriormente.

6.2.4 Relação entre os resultados dos ensaios

Devido os resultados obtidos nos dois últimos ensaios serem diferentes dos relativos ao ensaio de referência, de tração direta, há coeficientes de conversão

A ABNT NBR 6118:2014, item 8.2.5 considera-se a tração direta f_{ct} igual a $0,9 f_{ct,sp}$ ou de $0,7 f_{ct,f}$ ou seja, coeficientes de conversão 0,9 e 0,7 para os resultados de compressão diametral e flexão, respectivamente.

Na ausência desses ensaios, as resistências à tração direta pode ser determinada a partir da resistência a compressão f_{ck} :

$$f_{ctk,inf} = 0,7 \cdot f_{ct,m}$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3 \cdot f_{ct,m}$$

- Para concretos da classe até C50:

$$f_{ct,m} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}$$

- Para concretos de classes acima de C50 até C90:

$$f_{ct,m} = 2,12 \cdot \ln(1 + 0,11 \cdot f_{ck})$$

Onde:

$f_{ct,m}$ e f_{ck} São determinados em MPa.

Para $f_{ckj} \geq 7$ MPa, essas expressões também podem ser usadas para idades diferentes de 28 dias.

6.3 Fluência do concreto

A fluência do concreto é ocasionada pelo aumento da deformação ao longo do tempo, devida a ação de cargas ou tensões permanentes. E é separada em fluência básica e fluência por secagem.

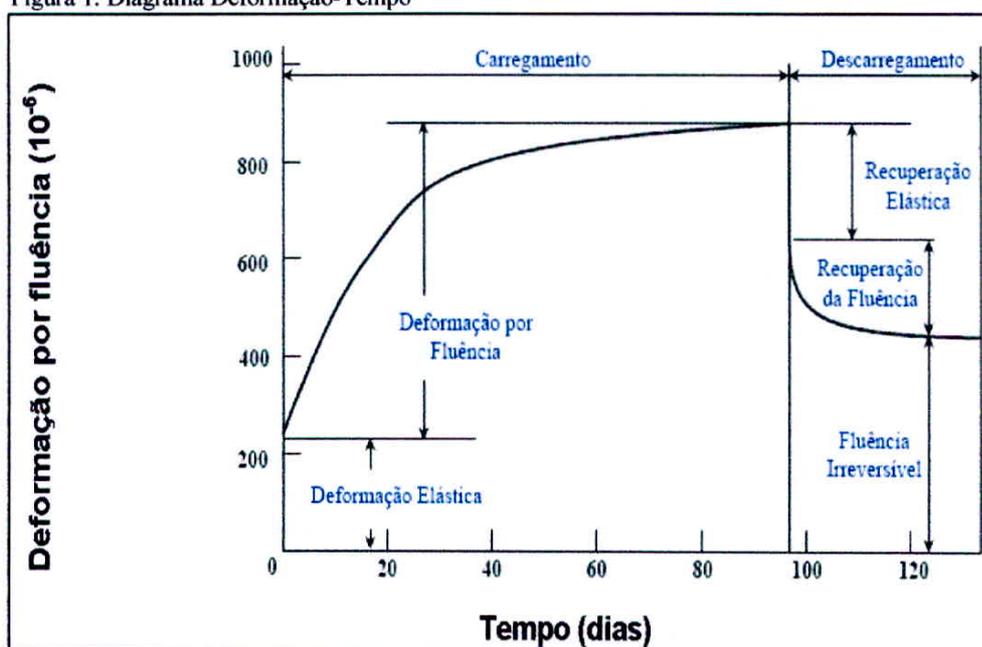
A fluência básica é a que se desenvolve sem transferência de água entre o concreto e o meio ambiente em condições de elevada umidade em torno 100%. Para a determinação da fluência básica nos ensaios de laboratório, utiliza-se corpos de prova selados, estes são envolvido por uma tira de borracha que é colada com resina epóxi. Com esse procedimento, evita-se a perda de umidade para o meio exterior.

A fluência por secagem é a que sofre transferência de água do concreto com meio externo. A umidade do ar é predominante neste tipo de fluência, pois quanto mais seco for ambiente, maior será seu coeficiente de fluência. Na prática e considera a fluência total, que é a soma das fluências básicas e por secagem, e fluência é simplesmente considerada como a deformação sob carga além da soma da deformação elástica e da deformação livre por secagem. A ABNT NBR 6118:2014 no item A.2.2.1 classifica a deformação do concreto por fluência:

A deformação por fluência do concreto (ϵ_{cc}) é composta de duas partes, uma rápida a outra lenta. A deformação rápida (ϵ_{cca}) é irreversível e ocorre durante as primeiras 24 h após a aplicação da carga que a originou. A deformação lenta é, por sua vez, composta por duas outras parcelas: a deformação lenta irreversível (ϵ_{ccf}) e a deformação lenta reversível (ϵ_{ccd}). (NBR 6118, 2014, p. 207)

Para a parte reversível, que é iniciada ao retirar o carregamento que deu origem a deformação, uma parte dessa deformação total é reparada imediatamente, e outra parte é restituída com tempo e o que resta torna-se permanente, como ilustra a figura a seguir.

Figura 1. Diagrama Deformação-Tempo



Fonte: Reversibilidade da fluência – MEHTA & MONTEIRO (1994)

A reversibilidade da fluência tem sua importância ligada a diversos fatores, que temos como exemplo: Tipo de cimento (se endurecimento lento, normal ou rápido), tempo de aplicação da carga, temperatura do ambiente, umidade do ar que a peça está envolvida, espessura da peça e o amadurecimento do concreto na data que ele recebera o carregamento.

6.4 Retração do concreto

A retração causa a redução do volume do concreto durante o processo de endurecimento, dividido a diminuição do volume de água dos poros.

Pode-se dividi-la em retração autógena e retração por secagem. A retração autógena acontece sem perdas de água para o exterior e é por consequência da remoção da água dos poros

pela hidratação do cimento. Já a retração hidráulica é ocasionada por influência das condições ambientais, sendo elas fatores climáticos que interfere na saída de água do concreto: as altas temperatura, a baixa umidade do ar, a velocidade do vento que incide sobre a peça recém concretada. Em condições reais, a retração hidráulica inclui também a variação autógena de volume.

Uma cura prolongada retarda o início da retração, permitindo que o concreto alcance uma resistência à tração satisfatória. Com isso, pode-se evitar uma fissuração prematura. As armaduras também são eficientes para a limitação das aberturas das fissuras decorrentes da retração. (ARAÚJO, 2002, p. 25)

Vários fatores fazem com que concreto retraia, entre eles podendo-se citar os tipos de materiais que o constitui e a dosagem do concreto, o tempo de cura, o fator água cimento (a/c) pois quanto maior for este fator maior e a retração proveniente da grande quantidade de água que se evapora ocasionando assim mais capilaridade, a composição química do cimento; pois a utilização de cimentos mais resistentes e de secagem mais rápidas ocasiona o aumento da retração, as condições do ambientais de umidade e a temperatura, a geometria do elemento, e a idade do concreto quando se dá início ao processo de secagem.

O traço do concreto interfere muito na retração, uma vez que está relacionado aos materiais que constitui o concreto, e suas combinações podem influenciar a retração do concreto, em especial a retração por secagem. A granulometria e a dimensão máxima do agregado, a relação água-cimento, o volume de água de amassamento e adição minerais e aditivos químicos são variáveis importante que afetam significativamente a retração do concreto.

A geometria das peças tem uma elevada relação com a retração, pois a superfície exposta e o volume total da peça interfere na perda de água se dá pelo ambiente, pois a cada dia as dimensões das placas de concreto são maiores e a execução cada vez mais esbeltas ocasionando cada vez mais pisos e pavimentos extremamente suscetíveis aos efeitos da retração do concreto.

6.5 O efeito da temperatura e da umidade na fluência e na retração do concreto

A fluência e a retração acontecem basicamente pela troca de umidade com o ambiente, quanto menor a umidade relativa maior e a fluência. Em estruturas de grande porte a retração por secagem pode ser desprezada. Já a fluência por secagem e as deformações adicionais

acontecem em condições que o concreto é exposto em ambientes com umidade relativa menores que 100%.

Pelo aumento da deformação ao longo do tempo ser muitas vezes maior que a deformação no momento do carregamento, a fluência e a retração e de extrema importância nas estruturas. Pois elas afetam as deformações e as flechas, e em alguns casos interfere também na distribuição das tensões; mais esse fenômeno varia muito do tipo de estrutura, pois esses efeitos são variáveis. Para o concreto massa, esse parâmetro é muito relevante, pois seus efeitos resultam na relaxação das tensões provenientes do resfriamento do concreto resultando e uma redução da fissuração. Apesar dos efeitos benéficos na maioria das vezes, para concretos protendidos esse fenômeno interfere para a perda da protensão.

E de extrema importância conhecer as variações da umidade na pasta de concreto endurecida, pois ela que controla as deformações da retração por secagem e a fluência do concreto, e ocasionada pela influência de vários fatores que interferem simultaneamente. Dos fatores que influenciam nesta propriedade é importante destacar: a dosagem e o tipo de material utilizados no traço do concreto, os aditivos usados, a composição química do cimento e sua finura, a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar, e as condições que está exposta a peça para cura e conservação, a geometria da peça de concreto, a idade que vai entrar o carregamento e a resistência do concreto.

NEVILLE (1997) afirma que um dos fatores mais importantes que atuam na fluência do concreto é a umidade relativa do ar no qual a estrutura está envolvida. Na fluência, a umidade relativa afeta na secagem do concreto, sendo importante diferenciar entre a secagem que acontece antes e que ocorre depois do carregamento. A secagem da peça quando carregada, ocasiona o aumento da fluência, ou seja, a fluência por secagem. Já em peças que o concreto já tenha atingido o equilíbrio com o meio antes da aplicação da carga, a influência da umidade é consideravelmente menor.

Em relação a temperatura, ela pode ocasionar dois efeitos opostos a fluência. METHTA e MONTEIRO (2008) afirmam que se uma peça de concreto é exposta a uma temperatura maior que a do ambiente no processo de cura antes da peça ser carregada, a resistência vai aumentar e a deformação por fluência será menor do que a do concreto armazenado a uma temperatura baixa. Pois a temperatura acelera a hidratação e diminui a fluência. Porém por outro lado, com a exposição a temperaturas altas durante o processo em que concreto está carregado, pode aumentar a fluência.

Quando a estrutura é carregada em baixas idades a fluência é maior nas primeiras semanas de carregamento em comparação a concretos carregados em idades maiores. Esse

comportamento ocorre devido ao maior grau de hidratação do concreto mais velhos, pois nessas idades apresentam uma estrutura interna mais compacta e com menor disponibilidade de água. Para idades de carregamento superior a 28 dias, a interferência da idade é muito insignificante.

Segundo NEVILLE (1997) foi observado que a fluência diminui com o aumento das dimensões da peça de concreto, devido a influência dos efeitos da retração e da fluência ocasionada pela secagem.

Isso ocorre devido à resistência ao transporte da água do interior da peça de concreto para a atmosfera, nesses casos a taxa de perda de água é controlada pelo comprimento do caminho que água tem que percorrer, que estará sendo expelido durante a fluência e a retração por secagem. A uma determinada umidade relativa, o tamanho e o formato da peça de concreto determina a magnitude da fluência e a retração por secagem.

A fluência e retração tem forte relação com a temperatura do ambiente em a estrutura está envolvida, devido ao calor de hidratação do concreto. Se tiver um equilíbrio entre a temperatura da peça e o meio que ela se encontra é ideal para a estrutura.

7 OBTENÇÃO DA DEFORMAÇÃO

Para a determinação das flechas deferidas ao longo do tempo, provenientes das cargas de longa duração, pode ser obtida de maneira mais simplificada pela multiplicação da flecha imediata pelo fator α_f são determinadas pelas expressões de acordo com o item 17.3.1.2 da NBR 6118 de 2014.

7.1 Determinação do momento de fissuração e ELS

Para o cálculo do momento de fissuração M_r pode ser obtido pela expressão aproximada encontrada na norma ABNT NBR 6118:2014 no item 17.3.1:

$$M_r = \frac{\alpha \cdot f_{ct} \cdot I_c}{y_t} \quad (1)$$

Onde:

α : 1,2 para seções em formato “T”, em duplo “T”, 1,5 para as seções retangulares e 1,3 para seções com I ou “T” invertido;

f_{ct} : É a resistência direta a tração do concreto. Para a determinação do momento de fissuração deve se usar $f_{ct,inf}$ no seu estado limite de formação de fissura e o $f_{ct,m}$ no seu estado limite de deformação excessiva;

I_c : Para momento de inércia da seção bruta do concreto;

y_t : A distância do centro de gravidade até a fibra mais tracionada;

Para verificação e utilizado do modo de elasticidade:

$$E_{ci} = \alpha_E 5600 \sqrt{f_{ck}} \text{ - para } f_{ck} \text{ de } 20 \text{ MPa a } 50 \text{ MPa.} \quad (2)$$

Onde:

$\alpha_E = 1,2$ para basalto e diabásio;

$\alpha_E = 1,0$ para granito e gnaisse;

$\alpha_E = 0,9$ para calcário;

$\alpha_E = 0,7$ para arenito.

Para obter o coeficiente de homogeneização da seção:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cs}} \quad (3)$$

Onde:

E_s : Módulo de elasticidade do aço

E_{cs} : Módulo de elasticidade secante do concreto

Cálculo para momento de inércia referente ao eixo I:

$$I_I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (4)$$

Onde:

b = Base da seção

h = Altura da seção

Para obtenção valor da inércia no eixo I puro:

$$x_1 = \frac{\frac{b \cdot h^2}{2} + (\alpha_e - 1) \cdot A_s \cdot d}{b \cdot h + (\alpha_e - 1) \cdot A_s} \quad (5)$$

$$I_1 = \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot \left(x_1 - \frac{h}{2}\right)^2 + (\alpha_e - 1) \cdot A_s \cdot (d - x_1)^2 \quad (6)$$

Onde:

b = Base da seção;

h = Altura da seção;

α_e = Coeficiente de homogeneização da seção;

d = Altura menos o cobrimento (d');

A_s = Área de aço;

x_1 = Posição da linha neutra no eixo I;

Para o cálculo da inércia no estágio II puro:

$$a_1 = \frac{bw}{2} \quad (7)$$

$$a_2 = \alpha_e \cdot A_s + (\alpha_e - 1) \cdot A'_s \quad (8)$$

$$a_3 = -d \cdot \alpha_e \cdot A_s - d' \cdot (\alpha_e - 1) \cdot A'_s = \quad (9)$$

$$X_{II} = \frac{-a_2 + \sqrt{(a_2)^2 - 4 \cdot a_1 \cdot a_3}}{2 \cdot a_1} \quad (10)$$

Para obtenção valor da inércia no estágio II puro vale:

$$I_{II0} = \frac{b_f \cdot (X_{II})^3}{3} + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - X_{II})^2 \quad (11)$$

Onde:

b = Base da seção;

b_f = Espessura da mesa;

h = Altura da seção;

α_e = Coeficiente de homogeneização da seção;

d = Altura menos o cobrimento (d');

A_s = Área de aço;

x_{II} = Posição da linha neutra no estágio II;

7.2 Cálculos das flechas imediatas.

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, outra forma para obtenção da flecha imediata em vigas e lajes para avaliação de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$(EI)_{eq,t0} = E_{cs} \left\{ \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 I_c + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 \right] I_{II} \right\} \leq E_{cs} I_c \quad (12)$$

Onde:

I_c : É o momento de inércia da seção bruta de concreto;

- I_{II}**: É o momento de inércia da seção fissurada de concreto no estágio II, calculado com $\alpha e = \frac{E_s}{E_{cs}}$
- M_a**: é o momento fletor na seção crítica do vão considerado, ou seja, o momento máximo no vão para vigas biapoiadas ou contínuas e momento no apoio para balanços, para a combinação de ações considerada nessa avaliação;
- M_r**: é o momento de fissuração do elemento estrutural, cujo valor deve ser reduzido à metade no caso de utilização de barras lisas;
- E_{cs}**: é o módulo de elasticidade secante do concreto

Verificação das flechas:

$$\lambda = \frac{l_Y}{l_X} \quad (13)$$

Onde:

l_Y = E a menor das dimensões da superfície da placa;

l_X = E a maior das dimensões da superfície da placa;

Combinações para cargas permanentes:

$$P = g_1 + g_2 \quad (14)$$

Combinações de cargas para quase permanente:

$$P = g_1 + g_2 + \Psi_2 \cdot q \cdot 0,4 \quad (15)$$

Combinação rara:

$$P = g_1 + g_2 + q \quad (16)$$

Para obtenção dos valores das flechas imediatas o coeficiente α , e consultado pela tabela 7.2 encontrada CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) da página 332.

$$\alpha = \frac{\alpha}{100} \cdot \frac{P \cdot l_x^4}{E_c \cdot h^3} \quad (17)$$

Onde:

α – Coeficiente obtido por tabela;

P – Carga definida pela combinação (por exemplo, permanente e quase permanente);

l_x – Menor direção da laje considerada

E_{CS} – Módulo de elasticidade secante do concreto

h – Altura da seção considerada;

Determinar o valor da flecha limite (Carregamento permanente e quase permanente):

$$\frac{l}{250} \quad (18)$$

Determinação da flecha limite para o carregamento acidental:

$$\frac{l}{350} \quad (17)$$

Onde:

l : é o menor vão da laje considerada e para viga comprimento da mesma.

7.3 Cálculo da flecha ao longo de vigas e lajes de concreto armado

As flechas deferidas ao longo do tempo, provenientes das cargas de longa duração, pode ser obtida de maneira mais simplificada pela multiplicação da flecha imediata pelo fator α_f obtido pelas expressões de acordo com o item 17.3.1.2 da NBR 6118 de 2014:

$$\alpha_f = \frac{\xi}{1 + 50 \cdot p'} \quad (19)$$

$$p' = \frac{A'_s}{bd} \quad (20)$$

Sendo, ξ um coeficiente relacionado em função do tempo, que pode ser obtido diretamente pela tabela a seguir ou pelas seguintes expressões:

$$\Delta\xi = \xi(t) - \xi(t_0) \quad (21)$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses} \quad (22)$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses} \quad (23)$$

Tabela 5. Valores do coeficiente ξ em função do tempo

Tempo (t) [meses]	0	0,5	1	2	3	4	5	10	20	40	≥ 70
Coeficiente $\xi(t)$	0	0,5	0,7	0,8	1	1	1,1	1,4	1,6	1,9	2

Fonte: NBR 6118, 2014, p. 127.

Onde:

- t:** Tempo, expresso em meses, para obtenção do valor da flecha deferida;
- t₀:** Idade em meses, referente a data na qual a carga de longa duração será aplicada na estrutura. Em casos em que as cargas de longa duração forem aplicadas em idades diferentes, pode-se considerar o valor t₀ o valor a seguir:

$$t_0 = \frac{\sum P_i t_{0i}}{\sum P_i} \quad (24)$$

- P_i:** Representação das parcelas de carga;
- t_{0i}:** Idade de aplicação de cada parcela P_i, expressa em meses.

Para a condição visual pode-se considerar o efeito da fluência, que determinada multiplicando as flechas imediatas pelo coeficiente α_f , e as flechas(no tempo infinito):

$$\alpha_{t_\infty} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) \quad (25)$$

Os métodos cálculos para flecha usais admitem que o carregamento atua todo de uma vez na estrutura após retirada do escoramento, para realizar o cálculo do α_f , mais via de regra não e dessa forma que o carregamento atua na estrutura, pois as cargas agem em tempos diversos. Isso não quer afirmar que esse procedimento esteja errado, porem o cálculo pode ser mais sofisticado pois realizando um desmembramento dessas cargas e considerando essas atuando em tempos distintos. Realizando os cálculos para que toda carga tenha um coeficiente de fluência de acordo com tempo que a mesma começará a atuar na estrutura.

7.4 Flechas em lajes e vigas com armaduras ativas conforme a NBR 6118: 2014

Quando se têm as armaduras ativas, torna-se suficiente considerar a rigidez equivalente do material $(EI)_{eq}$, igual ao produto do módulo de elasticidade secante (E_{CS}) e o momento de inércia da seção de concreto armado (I_c), desde que não seja ultrapassado o estado-limite para formação de fissuras. Caso essa condição não seja satisfeita usa-se a expressão completa para o cálculo da flecha imediata em vigas de concreto pode ser utilizada desde que o momento de inércia do concreto no estágio II (I_{II}), momento de fissuração (M_r) e momento fletor na seção crítica (M_a) sejam calculados levando em consideração o elemento estrutural submetido à combinação das ações escolhidas. Para considerações das deformações ao longo do tempo, e necessário realizar a multiplicação da parcela permanente de flecha imediata por $(1 + \varphi)$ em que φ é o coeficiente de fluência, para obtenção φ utiliza-se as tabelas apresentadas nos itens 7.1 e 7.2 desse trabalho que levam em consideração a umidade.

Esse procedimento é utilizado para o cálculo da armadura ativa no concreto protendido, porém a norma não faz a restrição para aplicação deste método, para o concreto armado, dessa forma cabe ao projetista a tomada decisão quanto a utilização desse procedimento.

8 CRONOGRAMA DO CARREGAMENTO NAS ESTRUTURAS

Para elaboração de um cronograma deve levar em consideração todos os fatores que influenciam de forma direta no tempo de execução da obra. Entre eles os quais o fator climático, pois vários dias de chuva podem comprometer significativamente no prazo final da entrega da obra, para isso é de extrema importância avaliar os fatores climáticos para se saber qual o período de maior incidência das chuvas. Ou fator que infere na construção de um cronograma e o financeiro, uma vez que velocidade da obra vai depender da disponibilidade de recursos que se tem para empregar no empreendimento.

Este trabalho, foca-se em criar um comparativo entre o modo convencional de cálculo da flecha, e outro método que utiliza de um cronograma de obras para analisar qual vai diferença dessas duas formas na flecha final, para isso foi criado vários cronogramas para possíveis idades de carregamento da estrutura.

Levando-se em consideração que as cargas atuantes nas estruturas não aguem de uma só vez, foi realizado alguns modelos de cronogramas com as possibilidades de entrada dessas cargas nos mais diversos tempos, para que se possa obter o resultado da diferença da entrada dessas cargas.

As cargas atuam na estrutura de acordo com a fase de construção, e começam a atuar seus efeitos na seguinte ordem: primeiras cargas a atuar na estrutura e o peso próprio, o peso próprio das paredes, revestimento do piso, revestimento da parede e pôr fim a carga acidental ou (carga de utilização).

Depois da determinação da ordem de atuação das cargas, realiza-se o cronograma com os instantes que iram atuar cada uma dessas ações. Após determinação desses cronogramas pode se realizar o comparativo para ver se o efeito da fluência de acordo com tempo e significativo ou não.

A seguir, apresenta-se os cinco cronogramas que serão utilizados para o estudo de caso, que vai realizar um comparativo da flecha deferida ao longo do tempo de acordo com as etapas de execução com o método que considera o carregamento todo atuando após a retirada do escoramento.

Quadro 1. Cronograma I de entrada das cargas na estrutura.

Tempo (t) em dias	Carga atuante
14	Peso próprio da estrutura (retirada do escoramento)
20	Sobrecarga da parede
25	Revestimento da laje
30	Atuação da carga acidental

Fonte: O autor

Quadro 2. Cronograma II de entrada das cargas na estrutura.

Tempo (t) em dias	Carga atuante
14	Peso próprio da estrutura (retirada do escoramento)
30	Sobrecarga da parede
40	Revestimento da laje
60	Atuação da carga acidental

Fonte: O autor

Quadro 3. Cronograma III de entrada das cargas na estrutura.

Tempo (t) em dias	Carga atuante
14	Peso próprio da estrutura (retirada do escoramento)
50	Sobrecarga da parede
70	Revestimento da laje
100	Atuação da carga acidental

Fonte: O autor

Quadro 4. Cronograma IV de entrada das cargas na estrutura.

Tempo (t) em dias	Carga atuante
14	Peso próprio da estrutura (retirada do escoramento)
90	Sobrecarga da parede
120	Revestimento da laje
180	Atuação da carga acidental

Fonte: O autor

Quadro 5. Cronograma V de entrada das cargas na estrutura.

Tempo (t) em dias	Carga atuante
14	Peso próprio da estrutura (retirada do escoramento)
120	Sobrecarga da parede
240	Revestimento da laje
360	Atuação da carga acidental

Fonte: O autor

9 RETIRADA DO ESCORAMENTO

O escoramento ou cimbramento é o conjunto de elementos da estrutura que serve de suporte provisório, durante a fase de construção das vigas e lajes e formada por andaimes e escoras. Um bom funcionamento desse sistema deve apresentar a ausência de patologias, e se faz necessário um planejamento que seja eficiente.

9.1 Cimbramento

O cimbramento é um conjunto de elementos que formam uma estrutura de suporte provisório, que tem por finalidade resistir e transmitir às bases de apoio da estrutura todas as ações provenientes das cargas permanentes e variáveis originadas do lançamento do concreto fresco sobre as fôrmas, até que o concreto se torne resistente.

O bom funcionamento desse sistema e ausência de patologias depende diretamente de um planejamento eficiente, deste tipo de estrutura provisória. Os procedimentos usados para lançamentos de formas das lajes e vigas moldadas in loco:

- a) Fazer o lançamento e fixar as longarinas apoiando-as em sarrafos guias pregadas nos garfos das vigas e lajes;
- b) Fazer o uso do escoramento mínimo para longarinas a cada (1 a 2 metros).
- c) Fazer o lançamento do assoalho (chapas compensadas ou por tábuas de madeira) apoiadas sobre as longarinas;
- d) Fazer a conferência do nível dos painéis do assoalho, realizando os ajustes por meio de cunhas nas escoras ou ajustes nos telescópios;
- e) Fazer o uso de fixadores laterais com a finalidade de reduzir e até eliminar as folgas e pregar o assoalho nas longarinas;
- f) Fazer travamento do conjunto como um todo;
- g) Realizar a limpeza e passar desmoldante;
- h) Fazer a conferência todo o conjunto e as partes antes de liberar a concretagem, realizando principalmente a verificação: nivelamento, contra-flecha, travamento, espaçadores e os esquadros.

Para cimentos que não são de alta resistência, ou que não são adicionados aditivos que tem por finalidade acelerar o endurecimento, a retirada das fôrmas e do escoramento não devem ser feitos antes dos prazos:

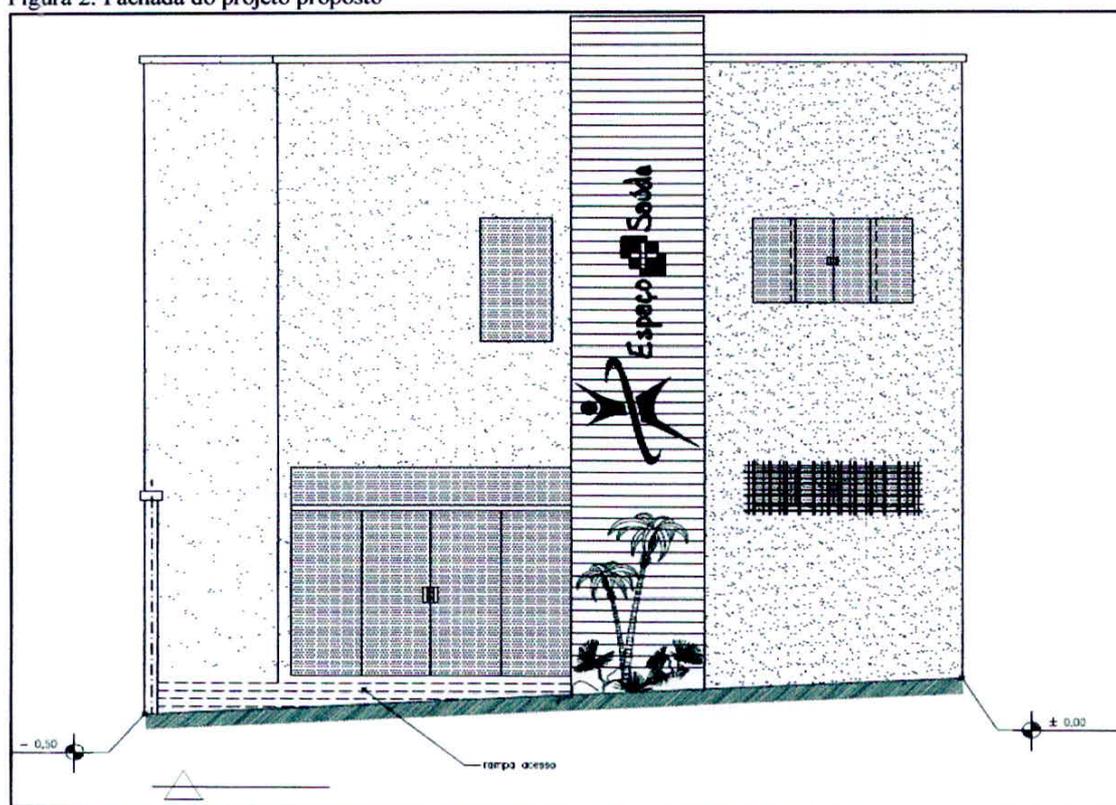
- Faces laterais em três dias.
- Retirada de algumas escoras com sete dias.
- Faces inferiores, deixando-se algumas escoras bem encunhadas, 14 dias.
- Desforma total, exceto em casos especiais, 21 dias.
- Vigas e arcos com vão maior do que dez metros, 28 dias.

A retirada de fôrmas e escoramentos deve ser executada de modo que se respeite o comportamento da estrutura em serviço. Para a desforma de estruturas que são mais esbeltas deve-se tomar cuidado, para que na desforma ou retirada a escora não ocorra choques fortes ou retiradas bruscas.

10 EDIFICAÇÃO PROPOSTA

Para a realização deste estudo foram utilizadas uma laje e uma viga de uma edificação comercial de dois pavimentos destinada ao um uso de uma academia com sobrecarga de utilização de 5 kN/m^2 .

Figura 2. Fachada do projeto proposto



Fonte: Eng. Civil Armando Belato Pereira

A escolha deste tipo de edificação, se deu devido a ela apresentar um sobrecarga de utilização elevada, o que pode resultar um efeito de fluência bem mais significativo que pode fornecer resultados mais expressivos para este estudo.

A edificação apresenta uma área de $184,56 \text{ m}^2$ por pavimento, totalizando uma área construída de $399,12 \text{ m}^2$.

Dada as dimensões do projeto, para que os detalhes necessários possam ser observados com maior clareza; as demais plantas baixas deste edifício modelo, estarão nos anexos deste estudo.

11 ESTUDO DE CASO.

Neste estudo de caso, foram adotadas aleatoriamente uma laje e uma viga da edificação modelo proposta. Para a realização do comparativo do dimensionamento desses elementos, admite-se que todas as cargas entram em ação na data da retirada das escoras, com o método que considera a entrada gradativa de acordo com um calendário e execução.

Para tal foram simuladas algumas situações: dimensionamento do modo convencional que as flechas limites não atendem todas as verificações, modo convencional em que atendem todas as verificações e método proposto por este estudo que considera um calendário de atuação das ações, o qual foi desenvolvido cinco cronogramas de execução, e foi dimensionado de acordo com cada um deles a fim de obter os resultados que serão apresentados.

Para a modo que considera a entrada gradativa do carregamento foi utilizado a separação das ações de acordo com tempo de atuação das cargas na estrutura e realizando os cálculos da flecha deferida ao longo do tempo multiplicado cada parcela do carregamento por um α_f respectivo ao tempo de atuação da carga, depois todas as parcelas foram somadas e assim determinando a flecha final atuante na estrutura.

Os cálculos do dimensionamento proposto por este estudo no qual se considera calendários de atuação das ações foi desenvolvido utilizando o calendário número três propostos, para as demais situações são apenas apresentados os resultados, devido o roteiro de cálculo ser o mesmo.

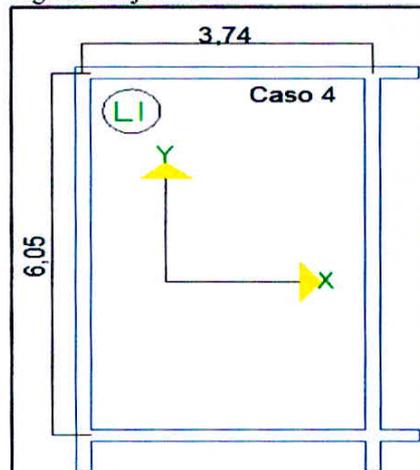
11.1 Dimensionamento da laje maciça

A laje maciça de uma edificação comercial, foi dimensionada para o funcionamento de uma academia, tendo uma altura total de dez centímetros, armada em duas direções, simplesmente apoiadas nas extremidades em vigas, apresenta uma dimensão de 3,74 m por 6,05 m.

Será dimensionada considerando o estado limite de serviço, em dois métodos: o carregamento atuado todo após retirada das escoras com 14 dias, e cargas atuando de acordo com um calendário de execução, para essa situação utilizou-se o cronograma III, propostos neste trabalho.

- Dados:
 - Altura adotada: 10cm
 - f_{ck} : 25 MPa
 - Aço CA-50
 - Classe de agressividade ambiental II; cobrimento de 25 mm
- Revestimento do Piso
 - Espessura: 2,0cm
 - Peso específico argamassa: 21,0 kN/m² (NBR 6120:1980)
 - Peso específico do revestimento porcelanato: 28,0 kN/m² (NBR 6120:1980)
 - Espessura: 7,0 mm
- Revestimento do forro
 - Espessura do revestimento: 1,0cm
 - Peso específico da argamassa: 19,0 kN/m² (NBR 6120: 1980)
 - Sobre carga da laje de 5 kN/m² (academia) segundo a NBR 6120: 1980

Figura 3. Laje estudada.



Fonte: Adaptado de Eng. Civil Armando Belato Pereira.

11.1.1 Verificação do módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade secante, a ser utilizado para a verificação dos estados limites de serviço e calculado de acordo com as expressões a seguir, considerando o agregado para o concreto sendo o granito ou gnaisse, e um f_{ck} de 25MPa.

$$E_{CI} = \alpha_e 5600 \sqrt{f_{ck}} \text{ - para } f_{ck} \text{ de } 20 \text{ MPa a } 50 \text{ MPa.}$$

Onde:

$\alpha_E = 1,2$ para basalto e diabásio;

$\alpha_E = 1,0$ para granito e gnaisse;

$\alpha_E = 0,9$ para calcário;

$\alpha_E = 0,7$ para arenito.

$$E_{CI} = 1,0 \cdot 5600 \sqrt{25} = 28000 \text{ MPa}$$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \quad (0,9 \leq 1,0)$$

$$0,8 + 0,2 \cdot \frac{25}{80} = 0,86$$

$$E_{CS} = \alpha_i \times E_{CI} = 0,86 \times 28000 = 24080$$

Para obter o coeficiente de homogeneização da seção:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{CS}} = \frac{210000}{24080} = 8,72$$

Onde:

E_s : Módulo de elasticidade do aço.

E_{CS} : Módulo de elasticidade secante do concreto.

Para utilização dos coeficientes das tabelas da laje maciça é preciso calcular o parâmetro λ que se refere a geometria da laje, que dado por:

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} = \frac{605}{374} = 1,6$$

Onde

l_y : Maior direção.

l_x : Menor direção.

11.1.2 Determinações dos momentos máximos nas direções x e y

Os momentos máximos positivos e negativos da laje por unidade de comprimento são obtidos através das expressões abaixo. Para a laje caso 4, através da tabela da página 333 CARVALHO e FIGUEIREDO (2014). Obtêm-se os seguintes valores:

$$\mu_x = 5,06 \quad \mu'_x = 10,99 \quad \mu_y = 2,31 \quad \mu'_y = 8,12$$

- Para os momentos máximos positivos, por unidade de comprimento, nas direções x e y:

$$m_x = \mu_x \cdot \frac{p \cdot l_x^2}{100} = 5,06 \cdot \frac{8,78.3,74^2}{100} = 6,15 \frac{kN}{m} \rightarrow 615,76 \frac{kN}{cm}$$

$$m_y = \mu_y \cdot \frac{p \cdot l_x^2}{100} = 2,31 \cdot \frac{8,78.3,74^2}{100} = 2,81 \frac{kN}{m} \rightarrow 281,11 \frac{kN}{cm}$$

- Para os momentos máximos negativos, por unidade de comprimento, nas direções x e y:

$$m_x = \mu'_x \cdot \frac{p \cdot l_x^2}{100} = 10,99 \cdot \frac{8,78.3,74^2}{100} = 13,37 \frac{kN}{m} \rightarrow 1337,40 \frac{kN}{cm}$$

$$m_y = \mu'_y \cdot \frac{p \cdot l_x^2}{100} = 8,12 \cdot \frac{8,78.3,74^2}{100} = 9,88 \frac{kN}{m} \rightarrow 988,14 \frac{kN}{cm}$$

Onde:

$\mu_x \mu_y \mu'_x \mu'_y$ Coeficientes obtidos em tabela.

l_x – Menor lado.

11.1.3 Determinação da altura mínima e cálculos das armaduras.

Os cálculos são efetuados considerando as seções retangulares sob flexão normal, e para o caso, para uma faixa de largura unitária de 1,0m. E utilizado o máximo momento positivo e o máximo negativo que atua na laje.

- Para o máximo momento negativo de acordo com a NBR6118:2014:

$$d_{min} = 2 \cdot \sqrt{\frac{Md}{bw \cdot fcd}}$$

$$d_{min} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1,4 \cdot 13,37}{1,0 \cdot 25000/1,4}} = 6,46$$

$d_{min} = 0,060m = 6,0cm < \text{que } 6,5 \text{ adotado para armadura negativa.}$

- Para o máximo momento positivo de acordo com a NBR6118:2014:

$$d_{min} = 2 \cdot \sqrt{\frac{Md}{bw \cdot fcd}}$$

$$d_{min} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1,4 \cdot 6,21}{1,0 \cdot 25000/1,4}} = 6,46$$

$d_{min} = 0,044m = 4,41 \text{ cm} < \text{que } 6,5 \text{ adotado para armadura negativa.}$

- Determinação do K_{md} (maior momento 1337,40)

$$k_{md} = \frac{Md}{bw \cdot (d - d')^2 \cdot fcd} = \frac{1,4 \cdot 1337,40}{100 \cdot (10 - 3,5)^2 \cdot \frac{2,5}{1,4}} = 0,248$$

Consultando a tabela: $KX = 0,444$ e $KZ = 0,822$

$$A_s = \frac{Md}{kz \cdot d \cdot fyd} = \frac{1,4 \cdot 1350}{0,822 \cdot 6,5 \cdot \frac{50}{1,15}} = \frac{8,06cm^2}{m}$$

$$\text{adotou} - \text{se } 10 \phi 10\text{mm} = A_s \text{ adotada} = \frac{7,85\text{cm}^2}{m}$$

Os cálculos dos momentos e armaduras utilizadas fica de forma bem organizada no quadro a seguir:

Tabela 6. Resumo para todos os momentos atuantes na laje

Localização	Tipo Laje	Rel. Vãos		μ	kN.cm/m	KMD	kx	Kz	As-calc (cm ² /m)	AS/adot (cm ² /m)
		λ	(ℓ_y/ℓ_x)							
Laje	M _x	4	1,60	5,06	621,42	0,115	0,183	0,927	3,322	4 ϕ 8mm As-3,14mm
	M _{x'}			10,99	1349,69	0,251	0,449	0,820	8,151	10 ϕ 10mm As-7,85mm
	M _y			2,31	283,69	0,053	0,080	0,968	1,452	2 ϕ 10mm As-1,56mm
	M _{y'}			8,12	997,23	0,185	0,311	0,876	5,642	7 ϕ 10,0mm As-5,50mm

Fonte: O autor

11.1.4 Determinação da armadura mínima para os momentos positivos e negativos

Para a seção retangular e f_{ck} 25 MPa e $b_w = 100\text{cm}$.

- Momento fletor negativo:

$$A_{s_{mim}} = 0,15\% \cdot b_w \cdot h = \frac{0,15}{100} \cdot 100 \cdot 10 = 1,5\text{cm}^2/m$$

- Momento fletor positivo:

$$A_{s_{mim}} = 0,67 \cdot 0,15\% \cdot b_w \cdot h = 0,67 \cdot \frac{0,15}{100} \cdot 100 \cdot 10 = 1,0\text{cm}^2/m$$

11.1.5 Cálculos para obtenção das inércias

- Momento de inércia no Estádio I: Determinação do momento de inércia referente ao estádio I da seção bruta em relação a um eixo horizontal no centro de gravidade da seção.

$$I_I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{100 \cdot 10^3}{12} = 8333,33 \text{ cm}^4$$

- Estádio II: A posição da linha neutra no estágio II é obtido através das equações tiradas de CARVALHO e FIGUEIREDO (2014).

$$\frac{b}{2} \cdot x_2^2 + \alpha e \cdot A_s \cdot x_2 - \alpha e \cdot A_s \cdot d = 0$$

$$\frac{100}{2} \cdot x_2^2 + 8,33 \cdot 3,14 \cdot x_2 - 8,33 \cdot 3,14 \cdot 6,5 = 0$$

$$50 x_2^2 + 26,14 x_2 - 170 = \div 50$$

$$x_2 + 0,523 x_2 - 3,4 =$$

$$X_{II} = \frac{-a_2 + \sqrt{(a_2)^2 - 4 \cdot a_1 \cdot a_3}}{2 \cdot a_1} = X_{II} = \frac{-0,523 + \sqrt{0,523^2 + 4 \cdot 3,81}}{2} = 1,71 \text{ cm}$$

$$I_2 = \frac{b \cdot X_{II}^3}{3} + \alpha e \cdot A_s \cdot (d \cdot X_{II})^2 = I_2 = \frac{100 \cdot 1,71^3}{3} + 8,33 \cdot 3,15 \cdot (6,5 - 1,71)^2$$

$$= 766,54 \text{ cm}^4$$

11.1.6 Determinação da flecha para as cargas permanentes, sem considerar um calendário de execução

Determinação do carregamento permanente, nessa fase atua o peso próprio da estrutura (g_1) e o peso do revestimento (g_2) que é obtido a seguir:

$$g_1 + g_2 = 2,5 + 1,28 = 3,78 \text{ kN/m}^2$$

- Momento de fissuração da peça:

$$f_{ctk,inf} = 0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

$$f_{ct} = f_{ctk,inf} = 0,21 \cdot \sqrt[3]{25^2} = 1,795 \text{ MPa} = 0,1795 \text{ kN.cm}^2$$

$$y_t = \frac{h}{2} = \frac{10}{2} = 5,0$$

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 8333,33}{5,0} = 449 \text{ kN.cm} \quad 4,49 \text{ kN.m}$$

$$Md = \frac{3,78.3,74^2}{8} = 6,6 \text{ Md} > Mr \text{ há fissuração.}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a laje irá fissurar, portanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

- Cálculos para obtenção da deformação excessiva da peça:

$$f_{ct,m} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{fck^2} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{25^2} = 2,56 \text{ MPa} = 0,2565 \text{ kN.cm}^2$$

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,2565 \cdot 8333,33}{5} = 641 \text{ kN.cm} = 6,41 \text{ kN.m}$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = I_I \left\{ \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 \right] I_{II} \right\}$$

$$I_m = 8333,33 \cdot \left(\frac{6,61}{6,47} \right)^3 + \left[1 - \left(\frac{6,61}{6,47} \right)^3 \right] \cdot 766,54 = 7862,65 \text{ cm}^4$$

Para a obtenção do coeficiente α para o cálculo da flecha elástica em laje, basta dividir l_y maior vão por l_x menor vão da laje considerada:

$$\alpha = \frac{l_y}{l_x} = \frac{605}{374} = 1,61$$

Para obtenção dos valores das flechas imediatas o coeficiente α , e consultado pela tabela 7.2 encontrada CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) da página 332.

$$\alpha = \frac{4,65}{100} \cdot \frac{3,78.3,74^4}{25200000 \cdot 0,10^3} = 0,136 \text{ cm}$$

$$a_{fissurada} = a_{imed} \cdot \frac{I_I}{I_m} = 0,136 \cdot \left(\frac{8333,33}{7862,65} \right) = 0,144 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 14 dias o carregamento permanente vai atuar todo após retirada do escoramento nessa data.

$$t_0 = \frac{14}{30} = 0,47$$

- Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{0,47})0,47^{0,32} = 0,53$$

- Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,53}{1} = 1,47$$

- O valor da flecha no tempo infinito na carga permanente e:

$$\alpha_{t\infty} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,137 \cdot (1 + 1,47) = 0,36 \text{ cm}$$

- Flecha limite:

$$f_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{374}{250} = 1,496 \text{ cm}$$

Atende a verificação.

11.1.7 Determinação da flecha para as cargas quase permanentes, sem considerar um calendário de execução

Determinação do carregamento quase permanente, nessa fase atua o peso próprio da estrutura, o peso do revestimento e a sobrecarga, como o edifício e comercial esse valor de sobrecarga equivale $0,4 \cdot \Psi_1$ desse carregamento.

$$g_1 + g_2 + 0,4 \cdot \Psi_1 = 2,5 + 1,28 + 0,4 \cdot 5 = 5,78 \text{ kN/m}^2$$

- Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 8333,33}{5,0} = 449 \text{ kN.cm } 4,49 \text{ kN.m}$$

$$M_d = \frac{5,78 \cdot 3,74^2}{8} = 10,10 \text{ Md} > M_r \text{ há fissuração.}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a laje irá fissurar, portanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

- Deformação excessiva:

$$f_{ct,m} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{25^2} = 2,56 \text{ MPa} - 0,2565 \text{ kN.cm}^2$$

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,2565 \cdot 8333,33}{5} = 641 \text{ kN.cm } 6,41 \text{ kN.m}$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = I_I \left\{ \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 \right] I_{II} \right\}$$

$$I_m = 8333,33 \cdot \left(\frac{6,41}{10,10} \right)^3 + \left[1 - \left(\frac{6,41}{10,10} \right)^3 \right] 766,54 = 2755,66 \text{ cm}^4$$

Para a obtenção do coeficiente α para o cálculo da flecha elástica em laje, basta dividir l_y maior vão por l_x menor vão da laje considerada.

$$\alpha = \frac{l_y}{l_x} = \frac{605}{374} = 1,61$$

Onde:

$l_y = \text{maior vão}$

$l_x = \text{menor vão}$

Para obtenção dos valores das flechas imediatas o coeficiente α , e consultado pela tabela 7.2 encontrada CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) da página 332.

$$\alpha = \frac{4,65}{100} \cdot \frac{5,78 \cdot 3,74^4}{25200000 \cdot 0,10^3} = 0,208 \text{ cm}$$

$$\alpha_{fissurada} = \alpha_{imed} \cdot \frac{I_t}{I_m} = 0,208 \cdot \left(\frac{8333,33}{2755,66} \right) = 0,631 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 14 dias o carregamento quase permanente vai atuar todo após retirada do escoramento nessa data.

$$t_0 = \frac{14}{30} = 0,47$$

- Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{0,47})0,47^{0,32} = 0,53$$

- Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,53}{1} = 1,47$$

- O valor da flecha no tempo infinito na carga quase permanente e:

$$\alpha_{t\infty} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,631 \cdot (1 + 1,47) = 1,56 \text{ cm}$$

- Flecha limite:

$$f_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{374}{250} = 1,496cm$$

Onde:

$l =$ menor vão;

Como a flecha no tempo infinito na carga quase permanente deu maior que flecha limite, não atende a verificação.

11.1.8 Determinação da flecha para a carga rara, sem considerar um calendário de execução

Determinação do carregamento raro, nessa fase atua o peso próprio da estrutura, o peso do revestimento e a sobrecarga total que e obtida pela NBR 6120:1980.

$$g_1 + g_2 + q = 2,5 + 1,28 + 5 = 8,78 \text{ kN/m}^2$$

- Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 8333,33}{5,0} = 449 \text{ kN.cm} \quad 4,49 \text{ kN.m}$$

$$M_d = \frac{8,78 \cdot 3,74^2}{8} = 15,35 \text{ Md} > M_r \text{ há fissuração}$$

Como o momento atuante e maior que o momento de fissuração, a laje irá fissurar, por tanto a sua deformação deve levar em conta a inercia média de BRANSON.

- Deformação excessiva:

$$f_{ct,m} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{25^2} = 2,56 \text{ MPa} - 0,2565 \text{ kN.cm}^2$$

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,2565 \cdot 8333,33}{5} = 641 \text{ kN.cm } 6,41 \text{ kN.m}$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = I_I \left\{ \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 \right] I_{II} \right\}$$

$$I_m = 8333,33 \cdot \left(\frac{6,41}{15,21} \right)^3 + \left[1 - \left(\frac{6,41}{15,21} \right)^3 \right] \cdot 766,54 = 1348,96 \text{ cm}^4$$

Para a obtenção do coeficiente α para o cálculo da flecha elástica em laje, basta dividir l_y maior vão por l_x menor vão da laje considerada.

$$\alpha = \frac{l_y}{l_x} = \frac{605}{374} = 1,61$$

Onde:

$l_y = \text{maior vão}$

$l_x = \text{menor vão}$

Para obtenção dos valores das flechas imediatas o coeficiente α , e consultado pela tabela 7.2 encontrada CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) da página 332.

$$\alpha = \frac{4,65}{100} \cdot \frac{8,78 \cdot 3,74^4}{25200000 \cdot 0,10^3} = 0,32 \text{ cm}$$

$$\alpha_{fissurada} = \alpha_{imed} \cdot \frac{I_I}{I_m} = 0,316 \cdot \left(\frac{8333,33}{1348,96} \right) = 1,96 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 14 dias o carregamento raro vai atuar todo após retirada do escoramento nessa data.

$$t_0 = \frac{14}{30} = 0,47$$

- Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{0,47})0,47^{0,32} = 0,53$$

- Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50.p'} = \frac{2 - 0,53}{1} = 1,47$$

- O valor da flecha no tempo infinito na carga rara e:

$$\alpha_{t\infty} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 1,958 \cdot (1 + 1,47) = 4,83 \text{ cm}$$

11.1.9 Determinação da flecha para a ação variável, sem considerar um calendário de execução

Para obtenção dessa flecha basta subtrair a carga rara pela carga permanente:

$$f_{\text{ação variável}} = a_{\text{rara}} - a_{\text{permanente}}$$

$$f_{\text{ação variável}} = 4,83 - 0,36 = 4,47 \text{ cm}$$

O valor da flecha limite na carga devida a ação variável:

$$a_{\text{lim}} = \frac{l}{350} = \frac{374}{350} = 1,07 \text{ cm}$$

Como a flecha da ação variável deu maior que flecha limite, conclui-se que não atenda a verificação.

11.1.10 Verificação ao cisalhamento

$$V_{SD} = 1,4 \cdot V_S = 1,4 \cdot 6,01 = 8,41 \text{ kN}$$

$$\tau_{Rd} = 0,25 \cdot \frac{1,547}{1,40} = 0,276 \text{ Mpa} = 276 \text{ kN/m}^2$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{0,84}{100 \cdot 6,5} = 0,005 < 0,02$$

$$k = (1,6 - d) \geq 1$$

$$k = (1,6 - 0,08) = 1,52 \geq 1 - \text{ok}$$

$$V_{rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_1)] \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{rd1} = [276 \cdot 1,52 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,005)] \cdot 1 \cdot 0,09 = 47,0 \text{ kN}$$

Portanto $V_{sd} < V_{rd1}$, pode-se dispensar o uso de armadura de cisalhamento.

11.1.11 Determinação da flecha para as cargas permanentes, considerando um calendário de execução

- 1º Situação o peso próprio atuando com 14 dias, (retirada do escoramento).

$$g_1 (\text{peso próprio}) = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

a) Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 8333,33}{5,0} = 449 \text{ kN.cm} \quad 4,49 \text{ kN.m}$$

$$M_d = \frac{2,5 \cdot 3,74^2}{8} = 4,52 \text{ Md} > M_r \text{ há fissuração}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a laje irá fissurar, portanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

b) Deformação excessiva:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,2565 \cdot 8333,33}{5} = 641 \text{ kN} \cdot \text{cm} \quad 6,41 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = 8333,33 \cdot \left(\frac{6,41}{4,52}\right)^3 + \left[1 - \left(\frac{6,41}{4,52}\right)^3\right] \cdot 766,54 = 24646,93 \text{ cm}^4$$

Para obtenção dos valores das flechas imediatas o coeficiente α , e consultado pela tabela 7.2 encontrada CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) da página 332.

$$\alpha = \frac{4,65}{100} \cdot \frac{2,5 \cdot 3,74^4}{25200000 \cdot 0,10^3} = 0,090 \text{ cm}$$

$$a_{fissurada} = a_{imed} \cdot \frac{I_l}{I_m} = 0,090 \cdot \left(\frac{8333,33}{24646,93}\right) = 0,030 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 14 dias o peso próprio vai atuar todo após retirada do escoramento nessa data.

$$t_0 = \frac{14}{30} = 0,47$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \quad \text{para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \quad \text{para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{0,47})0,47^{0,32} = 0,53$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,53}{1} = 1,47$$

O valor da flecha no tempo infinito na carga permanente e:

$$\alpha_{t\infty} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,030 \cdot (1 + 1,47) = 0,074\text{cm}$$

- 2º Situação o peso revestimento começa a atuar na estrutura 70 dias.

$$g_1(\text{peso próprio})2,5 + g_2(\text{revestimento})1,28 = 3,78\text{kN/m}^2$$

a) Formação de fissura:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 8333,33}{5,0} = 449\text{kN.cm} \quad 4,49\text{kN.m}$$

$$M_d = \frac{3,78 \cdot 3,74^2}{8} = 6,61\text{ Md} > M_r \text{ há fissuração}$$

Como o momento atuante e maior que o momento de fissuração, a laje irá fissurar, por tanto a sua deformação deve levar em conta a inercia média de BRANSON.

b) Deformação excessiva:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,2565 \cdot 8333,33}{5} = 641\text{kN.cm} \quad 6,41\text{kN.m}$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que e dado por:

$$I_m = 8333,33 \cdot \left(\frac{6,41}{6,61}\right)^3 + \left[1 - \left(\frac{6,41}{6,61}\right)^3\right] \cdot 766,54 = 7667,05\text{cm}^4$$

Para obtenção dos valores das flechas imediatas o coeficiente α , e consultado pela tabela 7.2 encontrada CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) da página 332.

$$\alpha = \frac{4,65}{100} \cdot \frac{1,28 \cdot 3,74^4}{25200000 \cdot 0,10^3} = 0,046\text{cm}$$

$$a_{fissurada} = a_{imed} \cdot \frac{I_I}{I_m} = 0,046 \cdot \left(\frac{8333,33}{7667,05} \right) = 0,050 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 70 dias o carregamento do revestimento vai atuar nessa data.

$$t_0 = \frac{70}{30} = 2,33$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{2,33})2,33^{0,32} = 0,88$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,88}{1} = 1,22$$

O valor da flecha no tempo infinito na carga permanente e:

$$\alpha_{t\infty} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,050 \cdot (1 + 1,12) = 0,106 \text{ cm}$$

Somatório das flechas totais:

Tabela 7. Somatório das flechas ações permanentes.

SITUAÇÃO	a total (cm)
1º Situação	0,074
2º Situação	0,106
Total:	0,18

Fonte: O autor

Flecha limite:

$$f_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{374}{250} = 1,496cm$$

Atende a verificação.

Em ambas a situação as verificações foram atendidas porém, considerando o carregamento atuando em tempos diversos na estrutura a flecha resultante foi relativamente menor.

11.1.12 Determinação da flecha para as cargas quase permanentes, considerando um calendário de execução.

- 1º Situação o peso próprio atuando com 14 dias, (retirada do escoramento).

$$g_1(\text{peso próprio}) = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

a) Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 8333,33}{5,0} = 449 \text{ kN.cm } 4,49 \text{ kN.m}$$

$$M_d = \frac{2,5 \cdot 3,74^2}{8} = 4,52 \text{ Md} > M_r \text{ há fissuração}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a laje irá fissurar, portanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

b) Deformação excessiva:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,2565 \cdot 8333,33}{5} = 641 \text{ kN.cm } 6,41 \text{ kN.m}$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = 8333,33 \cdot \left(\frac{6,41}{4,52}\right)^3 + \left[1 - \left(\frac{6,41}{4,52}\right)^3\right] \cdot 766,54 = 24646,93 \text{ cm}^4$$

Para obtenção dos valores das flechas imediatas o coeficiente α , e consultado pela tabela 7.2 encontrada CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) da página 332.

$$\alpha = \frac{4,65}{100} \cdot \frac{2,5 \cdot 3,74^4}{25200000 \cdot 0,10^3} = 0,090 \text{ cm}$$

$$\alpha_{fissurada} = \alpha_{imed} \cdot \frac{I_f}{I_m} = 0,090 \cdot \left(\frac{8333,33}{24646,93}\right) = 0,030 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 14 dias o peso próprio vai atuar todo após retirada do escoramento nessa data.

$$t_0 = \frac{14}{30} = 0,47$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{0,47})0,47^{0,32} = 0,53$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,53}{1} = 1,47$$

O valor da flecha no tempo infinito na carga quase permanente é:

$$\alpha_{t\infty} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,030 \cdot (1 + 1,47) = 0,074 \text{ cm}$$

- 2º Situação o peso revestimento começa a atuar na estrutura 70 dias.

$$g_1(\text{anterior})2,5 + g_2(\text{revestimento})1,28 = 3,78\text{kN/m}^2$$

a) Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 8333,33}{5,0} = 449\text{kN.cm } 4,49\text{kN.m}$$

$$M_d = \frac{3,78 \cdot 3,74^2}{8} = 6,61 \text{ Md} > M_r \text{ há fissuração}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a laje irá fissurar, portanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

b) Deformação excessiva:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,2565 \cdot 8333,33}{5} = 641\text{kN.cm } 6,41\text{kN.m}$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = 8333,33 \cdot \left(\frac{6,41}{6,61}\right)^3 + \left[1 - \left(\frac{6,41}{6,61}\right)^3\right] \cdot 766,54 = 7667,05\text{cm}^4$$

Para obtenção dos valores das flechas imediatas o coeficiente α , é consultado pela tabela 7.2 encontrada CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) da página 332.

$$\alpha = \frac{4,65}{100} \cdot \frac{1,28 \cdot 3,74^4}{25200000 \cdot 0,10^3} = 0,046\text{cm}$$

$$a_{\text{fissurada}} = a_{\text{imed}} \cdot \frac{I_l}{I_m} = 0,046 \cdot \left(\frac{8333,33}{7667,05}\right) = 0,050 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 70 dias o carregamento do revestimento vai começar a atuar a partir dessa data.

$$t_0 = \frac{70}{30} = 2,33$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{2,33})2,33^{0,32} = 0,88$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,88}{1} = 1,22$$

O valor da flecha no tempo infinito na quase permanente e:

$$\alpha_{t_{\infty}} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,050 \cdot (1 + 1,22) = 0,106 \text{ cm}$$

- 3º Situação uma parcela da carga acidental vai atuar aos 100 dias.

Para o carregamento quase permanente:

$$(anterior)3,78 + 2,0(acidental) = 5,78 \text{ kN.m}$$

a) Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 8333,33}{5,0} = 449 \text{ kN.cm } 4,49 \text{ kN.m}$$

$$M_d = \frac{5,78 \cdot 3,74^2}{8} = 10,10 \text{ Md} > M_r \text{ há fissuração}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a laje irá fissurar, portanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

b) Deformação excessiva:

$$M_r = \frac{1,5,0,2565.8333,33}{5} = 641kN.cm \text{ } 6,41kN.m$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que e dado por:

$$I_m = 8333,33 \cdot \left(\frac{6,41}{10,10}\right)^3 + \left[1 - \left(\frac{6,41}{10,10}\right)^3\right] \cdot 766,54 = 2700,83cm^4$$

Para obtenção dos valores das flechas imediatas o coeficiente α , e consultado pela tabela 7.2 encontrada CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) da página 332.

$$\alpha = \frac{4,65}{100} \cdot \frac{5,78 \cdot 3,74^4}{25200000 \cdot 0,10^3} = 0,072cm$$

$$a_{fissurada} = a_{imed} \cdot \frac{I_1}{I_m} = 0,072 \cdot \left(\frac{8333,33}{2700,83}\right) = 0,222 cm$$

Consideração da fluência para o tempo de 100 dias uma parcela do carregamento acidental vai atuar após essa data.

$$t_0 = \frac{100}{30} = 3,33$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{3,33})3,33^{0,32} = 0,98$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50.p'} = \frac{2 - 0,98}{1} = 1,02$$

O valor da flecha no tempo infinito na carga quase permanente e:

$$\alpha_{t\infty} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,222.(1 + 1,02) = 0,45cm$$

Somatório das flechas totais:

Tabela 8. Somatório das flechas ação quase permanente.

SITUAÇÃO	<i>a total(cm)</i>
1º Situação	0,074
2º Situação	0,106
3º Situação	0,45
Total:	0,63

Fonte: O autor

Comparando com modo convencional que considera o carregamento atuando todo após a retirada do escoramento a flecha foi de 1,56 cm, com o método proposto a mesma foi consideravelmente menor. Pois antes a flecha não atendia a verificação, nessa situação atendeu;

$$f_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{374}{250} = 1,496cm$$

11.1.13 Determinação da flecha para a carga rara, considerando um calendário de execução.

- 1º Situação o peso próprio atuando com 14 dias, (retirada do escoramento).

$$g_1(\text{peso próprio}) = 2,5 \text{ KN/m}^2$$

a) Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{1,5.0,1795.8333,33}{5,0} = 449KN.cm \quad 4,49KN.m$$

$$Md = \frac{2,5.3,74^2}{8} = 4,52 Md > Mr \text{ há fissuração}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a laje irá fissurar, portanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

b) Deformação excessiva:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,2565 \cdot 8333,33}{5} = 641 \text{ kN} \cdot \text{cm} \quad 6,41 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = 8333,33 \cdot \left(\frac{6,41}{4,52} \right)^3 + \left[1 - \left(\frac{6,41}{4,52} \right)^3 \right] \cdot 766,54 = 24646,93 \text{ cm}^4$$

Para obtenção dos valores das flechas imediatas o coeficiente α , e consultado pela tabela 7.2 encontrada CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) da página 332.

$$\alpha = \frac{4,65}{100} \cdot \frac{2,5 \cdot 3,74^4}{25200000 \cdot 0,10^3} = 0,090 \text{ cm}$$

$$\alpha_{fissurada} = \alpha_{imed} \cdot \frac{I_I}{I_m} = 0,090 \cdot \left(\frac{8333,33}{24646,93} \right) = 0,030 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 14 dias, o peso próprio vai atuar todo após retirada do escoramento nessa data.

$$t_0 = \frac{14}{30} = 0,47$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \quad \text{para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \quad \text{para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{0,47})0,47^{0,32} = 0,53$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50.p'} = \frac{2 - 0,53}{1} = 1,47$$

O valor da flecha no tempo infinito da carga rara e:

$$\alpha_{t\infty} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,030 \cdot (1 + 1,47) = 0,074\text{cm}$$

- 2º Situação o peso revestimento começa atuar na estrutura após 70 dias.

$$g_1(\text{anterior})2,5 + g_2(\text{revestimento})1,28 = 3,78\text{kN/m}^2$$

a) Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 8333,33}{5,0} = 449\text{kN.cm} \quad 4,49\text{kN.m}$$

$$M_d = \frac{3,78 \cdot 3,74^2}{8} = 6,61 \text{ Md} > M_r \text{ há fissuração}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a laje irá fissurar, portanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

b) Deformação excessiva:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,2565 \cdot 8333,33}{5} = 641\text{kN.cm} \quad 6,41\text{kN.m}$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = 8333,33 \cdot \left(\frac{6,41}{6,61}\right)^3 + \left[1 - \left(\frac{6,41}{6,61}\right)^3\right] \cdot 766,54 = 7667,05\text{cm}^4$$

Para obtenção dos valores das flechas imediatas o coeficiente α , é consultado pela tabela 7.2 encontrada CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) da página 332.

$$\alpha = \frac{4,65}{100} \cdot \frac{1,28 \cdot 3,74^4}{25200000 \cdot 0,10^3} = 0,046 \text{ cm}$$

$$\alpha_{fissurada} = \alpha_{imed} \cdot \frac{I_l}{I_m} = 0,046 \cdot \left(\frac{8333,33}{7667,05} \right) = 0,050 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 70 dias o carregamento do revestimento vai começar a atuar após essa data.

$$t_0 = \frac{70}{30} = 2,33$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{2,33})2,33^{0,32} = 0,88$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,88}{1} = 1,12$$

O valor da flecha no tempo infinito para carga rara e:

$$\alpha_{t_{\infty}} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,050 \cdot (1 + 1,12) = 0,106 \text{ cm}$$

- 3° Situação a carga rara vai atuar aos 100 dias (carregamento total):

$$(anterior)3,78 + 5(acidental) = 8,78 \text{ kN.m}$$

a) Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{1,5,0,1795.8333,33}{5,0} = 449kN.cm \quad 4,49kN.m$$

$$Md = \frac{8,78.3,74^2}{8} = 15,35 \quad Md > Mr \text{ há fissuração}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a laje irá fissurar, portanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

Deformação excessiva:

$$M_r = \frac{1,5,0,2565.8333,33}{5} = 641kN.cm \quad 6,41kN.m$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = 8333,33 \cdot \left(\frac{6,41}{15,35}\right)^3 + \left[1 - \left(\frac{6,41}{15,35}\right)^3\right] \cdot 766,54 = 1317,55cm^4$$

Para obtenção dos valores das flechas imediatas o coeficiente α , e consultado pela tabela 7.2 encontrada CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) da página 332.

$$\alpha = \frac{4,65}{100} \cdot \frac{5.3,74^4}{25200000 \cdot 0,10^3} = 0,180cm$$

$$a_{fissurada} = a_{imed} \cdot \frac{I_l}{I_m} = 0,180 \cdot \left(\frac{8333,33}{1317,55}\right) = 1,14 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 100 dias o carregamento acidental vai atuar após nessa data.

$$t_0 = \frac{100}{30} = 3,33$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \quad \text{para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{3,33})3,33^{0,32} = 0,98$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta \bar{\xi}}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,98}{1} = 1,02$$

O valor da flecha no tempo infinito na carga rara e:

$$\alpha_{t\infty} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 1,14(1 + 1,02) = 2,30 \text{ cm}$$

Somatório das flechas totais:

Tabela 9. Somatório das flechas carga rara.

SITUAÇÃO	<i>a total</i> (cm)
1º Situação	0,074
2º Situação	0,106
3º Situação	2,30
Total:	2,48

Fonte: O autor

Comparando com modo convencional que considera o carregamento atuando todo após a retirada do escoramento foi de 4,83 cm, com o método proposto a flecha foi consideravelmente menor.

11.1.14 Determinação da flecha para a ação variável, considerando um calendário de execução

Considerando o carregamento atuando na estrutura em tempos diversos a flecha devida a carga da ação variável.

$$f_{\text{ação variável}} = a_{\text{rara}} - a_{\text{permente}}$$

$$f_{\text{ação variável}} = 2,48 - 0,18 = 2,30 \text{ cm}$$

A flecha devido a ação variável considerando o calendário de entrada das cargas foi consideravelmente menor que no modo convencional, provando assim a eficácia do método.

Tabela 10. Comparativo da flecha devido a ação variável com, e sem um calendário de execução.

Flecha devida a ação variável, modo convencional.	Flecha devida a ação variável, levando em consideração o calendário de execução.
4,83cm	2,30cm

Fonte: O autor

Flecha limite:

$$a_{lim} = \frac{l}{350} = \frac{374}{250} = 1,07cm$$

Na flecha variável em ambos os métodos não atendeu a verificação, porém no que considera um calendário da execução consideravelmente menor, podendo aplicar uma contra flecha bem menor que para o método convencional.

11.2 Dimensionamento da viga V1

Foi dimensionada uma viga simplesmente apoiada de uma edificação comercial para fins de utilização de uma academia, com as dimensões 0,20 m x 0,30 m e comprimento de 3,74 m.

Esta, nos cálculos dimensionada considerando o estado limite de serviço, calculada através de dois métodos, considerando o carregamento atuado todo após retirada das escoras com 14 dias, e cargas atuando de acordo com um calendário de atuação das cargas, para essa situação utilizou-se o cronograma número três, proposto neste trabalho.

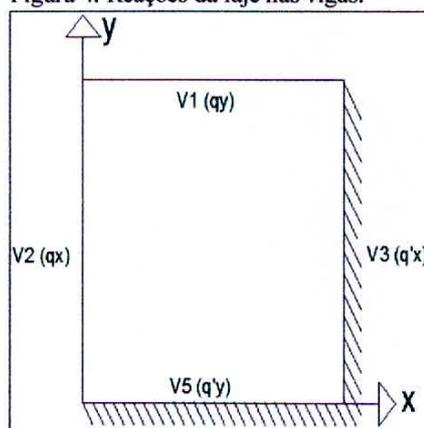
- Dados da laje apoiada na viga:
 - Altura adotada- 10cm;
 - f_{ck} -25 MPa;
 - Aço CA-50;
 - Classe de agressividade ambiental II; cobrimento de 25 mm

- Revestimento do Piso-
 - Espessura-2,0cm;
 - Peso específico argamassa- 21,0 kN/m²(NBR 6120: 1980);
 - Peso específico do revestimento porcelanato- 28,0 kN/m²(NBR 6120: 1980);
 - Espessura 7,0mm;

- Revestimento do forro
 - Espessura do revestimento- 1,0cm;
 - Peso específico da argamassa- 19,0 kN/m² (NBR 6120: 1980);
 - Sobre carga da laje de 5 kN/m² (academia) segundo a NBR 6120: 1980;

- Cargas da viga.
 - Peso específico da argamassa para parede = 19,0 kN/m²
 - Espessura do revestimento da parede de 3,0cm;
 - Peso específico do tijolo 13 kN/m² e uma espessura de 10 cm.
 - Peso próprio da viga para a dimensão estimada de 0,20 x 0,30 cm
Peso próprio- 1,5kN/m²
 - Comprimento de 3,74 m.
 - Altura da parede sobre a viga de 2,50m

Figura 4. Reações da laje nas vigas.



Fonte: O autor

11.2.1 Determinações da área de aço.

Carregamento da laje atuando na viga:

$$g_1(\text{peso próprio}) + g_2(\text{revestimento}) + q(\text{acidental})$$

$$2,5 + 1,28 + 5 = 8,78 \text{ kN/m}^2$$

Para se determinar o carregamento total das reações da laje na viga coeficientes foram obtidos através da tabela 7.9, CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) da página 345.

Tabela 11. Reação da laje na viga carregamento total.

Laje	Caso	l_x	λ	Plx	k_y	q_y
1	4	3,74	1,60	32,83	1,83	6,01

Fonte: o autor

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} = \frac{6,05}{3,74} = 1,61$$

Usando a tabela dos coeficientes para determinar as reações na viga e aplicando na formula obtemos a carga da laje atuando na viga:

$$q_y = K_y \cdot \frac{p \cdot l_x}{10} = 1,83 \cdot \frac{8,78 \cdot 3,74}{10} = 6,01 \text{ kN.m}$$

Carregamento permanente atuante na viga:

$$g_1(\text{peso próprio})1,5 + \text{parede} (0,10 \cdot 13 + 0,03 \cdot 19)2,50 = 6,17 \text{ kN.m}$$

Carregamento total máximo:

$$6,01(\text{reação da laje}) + 6,17(\text{viga}) = 12,18 \text{ kN.m}$$

O máximo momento fletor que atua na viga:

$$\frac{12,18 \cdot 3,74^2}{8} = 21,30 \text{ kN.m}$$

Determinação do K_{md}

$$K_{md} = \frac{Md}{bw \cdot (d - d')^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1,4 \cdot 2130}{20 \cdot (30 - 3)^2 \cdot \frac{2,5}{1,4}} = 0,115$$

Consultando a tabela: $K_X = 0,182$ e $K_Z = 0,927$

Determinação da área de aço:

$$A_s = \frac{Md}{k_z \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1,4 \cdot 2130}{0,927 \cdot 27 \cdot \frac{50}{1,15}} = \frac{2,34 \text{ cm}^2}{m}$$

Área de aço adotado 3 ϕ 10,0 mm - $A_s = 2,35 \text{ cm}^2$.

11.2.2 Para verificação do módulo de elasticidade:

$$E_{ci} = \alpha_E 5600 \sqrt{f_{ck}} \text{ - para } f_{ck} \text{ de } 20 \text{ MPa a } 50 \text{ MPa.}$$

Onde:

$\alpha_E = 1,2$ para basalto e diabásio;

$\alpha_E = 1,0$ para granito e gnaisse;

$\alpha_E = 0,9$ para calcário;

$\alpha_E = 0,7$ para arenito.

$$E_{ci} = 1,0 \cdot 5600 \sqrt{25} = 28000 \text{ MPA}$$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \quad (0,9 \leq 1,0) \quad 0,8 + 0,2 \cdot \frac{25}{80} = 0,86$$

$$E_{cs} = \alpha_i \times E_{ci} = 0,9 \times 28000 = 25200$$

Para obter o coeficiente de homogeneização da seção:

$$\alpha e = \frac{E_s}{E_{cs}} = \frac{210000}{25200} = 8,33$$

Onde:

E_s : Módulo de elasticidade do aço

E_{cs} : Módulo de elasticidade secante do concreto

11.2.3 Cálculos para obtenção das inércias:

Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{\alpha \cdot f_{ct} \cdot I_c}{y_t}$$

Onde: $\alpha=1,5$ (seção retangular);

- Momento de inércia no Estádio I: Determinação do momento de inércia referente ao estádio I da seção bruta em relação a um eixo horizontal no centro de gravidade da seção.

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{20 \cdot 30^3}{12} = 45000 \text{ cm}^4$$

- Estádio II: A posição da linha neutra no estádio II e obtido através das equações tiradas de CARVALHO e FIGUEIREDO (2014).

$$\begin{aligned} \frac{b}{2} \cdot x_2^2 + \alpha e \cdot A_s \cdot x_2 - \alpha e \cdot A_s \cdot d &= 0 \\ \frac{20}{2} \cdot x_2^2 + 8,33 \cdot 2,35 \cdot x_2 - 8,33 \cdot 2,35 \cdot 27 &= 0 \\ 10 x_2^2 + 19,57 x_2 - 528,35 &= \div 10 \\ x_2 + 1,95 x_2 - 52,85 &= \\ X_{II} = \frac{-a_2 + \sqrt{(a_2)^2 - 4 \cdot a_1 \cdot a_3}}{2 \cdot a_1} = X_{II} = \frac{-1,95 + \sqrt{1,95^2 + 4 \cdot 52,85}}{2} &= 6,35 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$I_2 = \frac{b \cdot X_{II}^3}{3} + \alpha e \cdot A_s \cdot (d \cdot X_{II})^2 = I_2 = \frac{20 \cdot 6,35^3}{3} + 8,33 \cdot 2,35 \cdot (27 - 6,35)^2$$

$$= 10054,41 \text{ cm}^4$$

11.2.4 Determinação da flecha para as ações permanentes, considerando a atuação das cargas todas após a retirada do escoramento.

Carga das ações permanentes da laje atuando na viga:

$$g_1 + g_2 = 2,5 + 1,28 = 3,70 \text{ kN/m}^2$$

Para se determinar o carregamento total das reações da laje na viga coeficientes foram obtidos através da tabela 7.9, CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) da página 345.

Tabela 12. Reação da laje na viga ações permanentes

Laje	Caso	l_x	λ	Pl_x	k_y	q_y
1	4	3,74	1,60	14,13	1,83	2,59

Fonte: o autor

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} = \frac{6,05}{3,74} = 1,61$$

Usando a tabela dos coeficientes para determinar as reações na viga;

$$q_y = K_y \cdot \frac{p \cdot l_x}{10} = 1,83 \cdot \frac{3,78 \cdot 3,74}{10} = 2,59 \text{ kN.m}$$

Cargas de atuação permanentes na viga:

$$g_1(\text{peso próprio})1,5 + \text{parede} (0,10 \cdot 13 + 0,03 \cdot 19)2,50 = 6,17 \text{ kN.m}$$

Carregamento total atuando na viga:

$$g_1(\text{viga}) + g_2(\text{viga e laje})2,59 + 6,17 = 8,76\text{kN.m}$$

a) Momento de fissuração:

$$f_{ctk,inf} = 0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

$$f_{ct} = f_{ctk,inf} = 0,21 \cdot \sqrt[3]{25^2} = 1,795 \text{ MPa} = 0,1795 \text{ kN.cm}^2$$

$$y_t = \frac{h}{2} = \frac{30}{2} = 15 \text{ cm}$$

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 45000}{15} = 807,75 \text{ kN.cm} \quad 8,07 \text{ kN.m}$$

$$M_d = \frac{8,76 \cdot 3,74^2}{8} = 15,31 \text{ kN.m} \quad M_d > M_r \text{ há fissuração}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a viga irá fissurar, portanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

Deformação excessiva:

$$f_{ct,m} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{25^2} = 2,56 \text{ MPa} = 0,2565 \text{ kN.cm}^2$$

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,2565 \cdot 45000}{15} = 1154,25 \text{ kN.cm} \quad 11,54 \text{ kN.m}$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = I_I \left\{ \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 \right] I_{II} \right\}$$

$$I_m = 45000 \cdot \left(\frac{11,54}{15,31} \right)^3 + \left[1 - \left(\frac{11,54}{15,31} \right)^3 \right] \cdot 10054,41 = 25019,67 \text{ cm}^4$$

Flecha imediata:

$$\alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I_m} = \frac{5}{384} \cdot \frac{8,76}{100} \cdot \left(\frac{374^4}{2520 \cdot 25019,67} \right) = 0,354 \text{ cm}$$

$$a_{fissurada} = a_{imed} \cdot \frac{I_1}{I_m} = 0,354 \cdot \left(\frac{45000}{25019,67} \right) = 0,663 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 14 dias o carregamento permanente vai atuar todo após retirada do escoramento nessa data.

$$t_0 = \frac{14}{30} = 0,47$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{0,47})0,47^{0,32} = 0,53$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,53}{1} = 1,47$$

O valor da flecha no tempo infinito na carga permanente e:

$$\alpha_{t\infty} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,663 \cdot (1 + 1,47) = 1,63 \text{ cm}$$

Flecha limite:

$$f_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{374}{250} = 1,496 \text{ cm}$$

Onde:

$l =$ Comprimento da viga;

Como a flecha no tempo infinito para a carga permanente foi maior que flecha limite, não atende a verificação.

11.2.5 Determinação da flecha para as ações quase permanentes, considerando a atuação das cargas todas após a retirada do escoramento.

Carga das ações quase permanentes da laje atuando na viga:

$$g_1(\text{peso próprio}) + g_2(\text{revestimento}) + q \cdot \Psi_1(\text{carga accidental})$$

$$2,5 + 1,28 + 5,0,4 = 5,78 \text{ kN/m}^2$$

Para se determinar o carregamento total das reações da laje na viga coeficientes foram obtidos através da tabela 7.9, CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) da página 345.

Tabela 13. Reação da laje na viga ações quase permanentes.

Laje	Caso	l_x	λ	Pl_x	k_y	q_y
1	4	3,74	1,60	21,62	1,83	3,95

Fonte: o autor.

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} = \frac{6,05}{3,74} = 1,61$$

Usando a tabela dos coeficientes para determinar as reações na viga;

$$q_y = K_y \cdot \frac{p \cdot l_x}{10} = 1,83 \cdot \frac{5,78 \cdot 3,74}{10} = 3,95 \text{ kN.m}$$

Cargas de atuação quase permanentes na viga:

$$g_1(\text{peso próprio}) + \text{parede} (0,10,13 + 0,03,19)2,50 = 6,17 \text{ kN.m}$$

Carregamento total atuando na viga:

$$3,95(\text{laje}) + 6,17(\text{viga}) = 10,12 \text{ kN.m}$$

a) Momento de fissuração:

$$f_{ctk,inf} = 0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

$$f_{ct} = f_{ctk,inf} = 0,21 \cdot \sqrt[3]{25^2} = 1,795 \text{ MPa} = 0,1795 \text{ kN.cm}^2$$

$$y_t = \frac{h}{2} = \frac{30}{2} = 15 \text{ cm}$$

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 45000}{15} = 807,75 \text{ kN.cm} \quad 8,07 \text{ kN.m}$$

$$M_d = \frac{10,12 \cdot 3,74^2}{8} = 17,70 \text{ kN.m} \quad M_d > M_r \text{ há fissuração}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a viga irá fissurar, portanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

b) Deformação excessiva:

$$f_{ct,m} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{25^2} = 2,56 \text{ MPa} = 0,2565 \text{ kN.cm}^2$$

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,2565 \cdot 45000}{15} = 1154,25 \text{ kN.cm} \quad 11,54 \text{ kN.m}$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = I_I \left\{ \left(\frac{M_r}{M_d} \right)^3 + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_d} \right)^3 \right] I_{II} \right\}$$

$$I_m = 45000 \cdot \left(\frac{11,54}{17,70} \right)^3 + \left[1 - \left(\frac{11,54}{17,70} \right)^3 \right] \cdot 10054,41 = 19739,19 \text{ cm}^4$$

Flecha imediata

$$\alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I_m} = \frac{5}{384} \cdot \frac{10,12}{100} \cdot \left(\frac{374^4}{2520 \cdot 19739,19} \right) = 0,518 \text{ cm}$$

$$a_{fissurada} = a_{I_{med}} \cdot \frac{I_I}{I_m} = 0,518 \cdot \left(\frac{45000}{19739,19} \right) = 1,18 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 14 dias o carregamento quase permanente vai atuar todo após retirada do escoramento nessa data.

$$t_0 = \frac{14}{30} = 0,47$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{0,47})0,47^{0,32} = 0,53$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,53}{1} = 1,47$$

O valor da flecha no tempo infinito na carga permanente e:

$$\alpha_{t_{\infty}} = \alpha_{t_0}(1 + \alpha_f) = 1,18 \cdot (1 + 1,47) = 2,91 \text{ cm}$$

Flecha limite:

$$f_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{374}{250} = 1,496 \text{ cm}$$

Onde:

l = Comprimento da viga;

Como a flecha no tempo infinito para a ação quase permanente foi maior que flecha limite, não atende a verificação.

11.2.6 Determinação da flecha para a carga rara, considerando a atuação das cargas todas após a retirada do escoramento

Carga da ação rara da laje atuando na viga:

$$g_1 + g_2 + q = 2,5 + 1,28 + 5 = 8,78 \text{ kN/m}^2$$

Para se determinar o carregamento total das reações da laje na viga coeficientes foram obtidos através da tabela 7.9, CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) da página 345.

Tabela 14. Reação da laje na viga ação rara.

Laje	Caso	l_x	λ	Pl_x	k_y	q_y
1	4	3,74	1,60	32,83	1,83	6,00

Fonte: o autor

$$\lambda = \frac{L_y}{l_x} = \frac{6,05}{3,74} = 1,61$$

Carga rara da laje atuando na viga:

$$g_1(\text{peso próprio}) + g_2(\text{revestimento}) + q(\text{acidental}) \\ 2,5 + 1,28 + 5 = 8,78 \text{ kN/m}^2$$

Carga rara da laje atuando na viga:

$$\lambda = \frac{L_y}{l_x} = \frac{6,05}{3,74} = 1,61 \\ q_y = K_y \cdot \frac{p \cdot l_x}{10} = 1,83 \cdot \frac{8,78 \cdot 3,74}{10} = 6,00 \text{ kN.m}$$

Carga rara da viga:

$$g_1(1,5) + \text{parede} (0,10 \cdot 13 + 0,03 \cdot 19) \cdot 2,50 = 6,17 \text{ kN.m}$$

Carregamento total atuando na viga:

$$6,0 + 6,17 = 12,17 \text{ kN.m}$$

a) Momento de fissuração:

$$f_{ctk,inf} = 0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

$$f_{ct} = f_{ctk,inf} = 0,21 \cdot \sqrt[3]{25^2} = 1,795 \text{ MPa} = 0,1795 \text{ kN.cm}^2$$

$$y_t = \frac{h}{2} = \frac{30}{2} = 15 \text{ cm}$$

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 45000}{15} = 807,75 \text{ kN.cm} \quad 8,07 \text{ kN.m}$$

$$M_d = \frac{12,17 \cdot 3,74^2}{8} = 21,27 \text{ kN.m} \quad M_d > M_r \text{ há fissuração}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a viga irá fissurar, portanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

b) Deformação excessiva

$$f_{ct} = f_{ct,m} = 0,2 \cdot 25^{\frac{2}{3}} = 2,56 \text{ MPa} = 0,2565 \text{ kN.cm}^2$$

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,2565 \cdot 45000}{15} = 1154,25 \text{ kN.cm} \quad 11,54 \text{ kN.m}$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = I_I \left\{ \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 \right] I_{II} \right\}$$

$$I_m = 45000 \cdot \left(\frac{11,54}{21,27} \right)^3 + \left[1 - \left(\frac{11,54}{21,27} \right)^3 \right] \cdot 10054,41 = 15635,35 \text{ cm}^4$$

Flecha imediata

$$\alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I_m} = \frac{5}{384} \cdot \frac{12,12}{100} \cdot \left(\frac{374^4}{2520 \cdot 15635,352} \right) = 0,783 \text{ cm}$$

$$a_{fissurada} = a_{imed} \cdot \frac{I_f}{I_m} = 0,783 \cdot \left(\frac{45000}{15635,35} \right) = 2,25 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 14 dias a carga rara vai atuar todo após retirada do escoramento nessa data.

$$t_0 = \frac{14}{30} = 0,47$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{0,47})0,47^{0,32} = 0,53$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,53}{1} = 1,47$$

O valor da flecha no tempo infinito na carga rara e:

$$\alpha_{t\infty} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 2,25 \cdot (1 + 1,47) = 5,56 \text{ cm}$$

11.2.7 Determinação da flecha para a ação variável, considerando a atuação das cargas todas após a retirada do escoramento

Considerando o carregamento atuando na estrutura em tempos diversos a flecha devida a carga da ação variável.

$$f_{ação\ variável} = a_{rara} - a_{permente}$$

$$f_{ação\ variável} = 5,56 - 1,63 = 3,93\text{cm}$$

O valor da flecha limite da ação variável:

$$a_{lim} = \frac{l}{350} = \frac{374}{350} = 1,07\text{cm}$$

Na flecha devido a ação variável não atende a verificação.

11.2.8 Determinação da cortante reduzida e verificação do concreto.

Cortante reduzida:

$$V_r = V - q \cdot \frac{(b + d)}{2} = 22,8 - 12,18 \cdot \frac{0,20 + 0,27}{2} = 19,94\text{KN}$$

Verificação da ruína das diagonais comprimidas do concreto:

$$V_{sd} \leq V_{rd^2}$$

$$V_{rd^2} = 0,27 \cdot \alpha_v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$\alpha_v = \left(1 - \frac{f_{cd}}{250}\right)$$

$$V_{rd^2} = 0,27 \cdot \left(1 - \frac{25}{250}\right) \cdot \frac{2,5}{1,4} \cdot 20 \cdot (30 - 3) = 234,32\text{kN}$$

$$V_{sd\ máximo} = \gamma_f \cdot V = 1,4 \cdot 22,8 = 31,92\text{kN} < V_{rd^2} \rightarrow \text{OK!}$$

11.2.9 Determinações da flecha para as ações permanentes, considerando um calendário de execução.

- 1º Situação o peso próprio atuando com 14 dias, (retirada do escoramento).

Peso próprio da laje atuando na viga:

$$g_1 = 2,5\text{ kN/m}^2$$

Usando a tabela dos coeficientes para determinar as reações da laje na viga;

$$q_y = K_y \cdot \frac{p \cdot lx}{10} = 1,83 \cdot \frac{2,5 \cdot 3,74}{10} = 1,71 \text{ kN.m}$$

Peso próprio da viga atuando aos 14 dias (após retirada do escoramento).

$$g_1 = 1,5 \text{ kN.m}$$

Carregamento total atuando na viga:

$$g_1(\text{laje}) + g_1(\text{viga}) = 1,71 + 1,5 = 3,21 \text{ kN.m}$$

Momento fletor:

$$\frac{3,21 \cdot 3,74^2}{8} = 5,61 \text{ kN.m}$$

a) Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 45000}{15} = 807,75 \text{ kN.cm } 8,07 \text{ kN.m}$$

$$M_d = 5,61 < M_r \text{ não fissuração}$$

Nessa situação como o momento atuante é menor que o momento de fissuração, pode-se concluir que na viga vai ocorrer apenas a inércia no estágio I.

Cálculo para momento de inércia referente ao estágio I:

$$x_1 = \frac{b \cdot \frac{h^2}{2} + (\alpha e - 1) \cdot A_s \cdot d}{b \cdot h + (\alpha e - 1) \cdot A_s} = \frac{20 \cdot \frac{30^2}{2} + (8,33 - 1) \cdot 2,35 \cdot 27}{20 \cdot 30 + (8,33 - 1) \cdot 2,35} = 15,33 \text{ cm}$$

$$I_1 = \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot \left(x_1 - \frac{h}{2}\right)^2 + (\alpha e - 1) \cdot A_s \cdot (d - x_1)^2 =$$

$$I_1 \frac{20 \cdot 30^3}{12} + 20 \cdot 30 \cdot \left(15,33 - \frac{30}{2}\right)^2 + (8,33 - 1) \cdot 2,35 \cdot (27 - 15,33)^2 = 27207 \text{ cm}^4$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = 45000 \cdot \left(\frac{8,07}{5,61}\right)^3 + \left[1 - \left(\frac{8,07}{5,61}\right)^3\right] \cdot 27207 = 80171,05 \text{ cm}^4$$

Flecha imediata

$$\alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I_m} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,21}{100} \cdot \left(\frac{374^4}{2520 \cdot 80171,05}\right) = 0,21 \text{ cm}$$

$$a_{fissurada} = a_{imed} \cdot \frac{I_f}{I_m} = 0,21 \cdot \left(\frac{45000}{80171,05}\right) = 0,12 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 14 dias o carregamento permanente vai atuar todo após retirada do escoramento nessa data.

$$t_0 = \frac{14}{30} = 0,47$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{0,47})0,47^{0,32} = 0,53$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,53}{1} = 1,47$$

O valor da flecha no tempo infinito na carga permanente é:

$$\alpha_{t_{\infty}} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,12 \cdot (1 + 1,47) = 0,29 \text{ cm}$$

- 2º Situação a parede atuando após 50 dias.

Carga peso da parede:

$$g_2 = (0,10 \cdot 13)2,50 = 3,25 \text{ kN.m} + 3,21 \text{ kN.m (peso próprio anterior)} \\ = 6,46 \text{ kN.m}$$

- a) Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 45000}{15} = 807,75 \text{ kN.cm } 8,07 \text{ kN.m} \\ M_d = \frac{6,46 \cdot 3,74^2}{8} = 11,30 \text{ Md} > M_r \text{ há fissuração}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a viga irá fissurar, portanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

- b) Deformação excessiva:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,2565 \cdot 45000}{15} = 1154,25 \text{ kN.cm } 11,54 \text{ kN.m}$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = 45000 \cdot \left(\frac{11,54}{11,30} \right)^3 + \left[1 - \left(\frac{11,54}{11,30} \right)^3 \right] \cdot 10054,41 = 47274,25 \text{ cm}^4$$

Flecha imediata

$$\alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I_m} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,25}{100} \cdot \left(\frac{374^4}{2520 \cdot 47274,25} \right) = 0,069 \text{ cm}$$

$$a_{fissurada} = a_{Imed} \cdot \frac{I_f}{Im} = 0,069 \left(\frac{45000}{47274,25} \right) = 0,066cm$$

Consideração da fluência para o tempo de 50 dias para o carregamento permanente vai atuar a carga da parede após essa data.

$$t_0 = \frac{50}{30} = 1,66$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{1,66})01,66^{0,32} = 0,79$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,79}{1} = 1,21$$

O valor da flecha no tempo infinito na carga permanente e:

$$\alpha_{t\infty} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,066 \cdot (1 + 1,21) = 0,146cm$$

- 3º Situação o peso revestimento começa a atuar na estrutura após 70 dias.

Carga da laje atuando na viga (revestimento): $g_2 = 1,28 \text{ kN/m}^2$

Usando a tabela dos coeficientes para determinar as reações da laje na viga;

$$q_y = K_y \cdot \frac{p \cdot lx}{10} = 1,83 \cdot \frac{1,28 \cdot 3,74}{10} = 0,87 \text{ kN.m}$$

Revestimento da parede sobre viga:

$$g_2(\text{parede})(0,03.19)2,50 = 1,43 + (R. \text{laje})0,87 + 6,46(\text{anterior}) = 8,76\text{kN/m}^2$$

a) Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{1,5.0,1795.45000}{15} = 807,75\text{kN.cm} \quad 8,07\text{kN.m}$$

$$M_d = \frac{8,76.3,74^2}{8} = 15,31 \text{ Md} > M_r \text{ há fissuração}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a viga irá fissurar, portanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

b) Deformação excessiva:

$$M_r = \frac{1,5.0,2565.45000}{15} = 1154,25\text{kN.cm} \quad 11,54\text{kN.m}$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = 45000 \cdot \left(\frac{11,54}{15,31}\right)^3 + \left[1 - \left(\frac{11,54}{15,31}\right)^3\right] \cdot 10054,41 = 25019,67\text{cm}^4$$

Flecha imediata

$$\alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I_m} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,30}{100} \cdot \left(\frac{374^4}{2520 \cdot 25019,67}\right) = 0,0929\text{cm}$$

$$a_{\text{fissurada}} = a_{\text{imed}} \cdot \frac{I_l}{I_m} = 0,0929 \cdot \left(\frac{45000}{25019,67}\right) = 0,167\text{cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 70 dias o carregamento do revestimento vai atuar nessa data.

$$t_0 = \frac{70}{30} = 2,33$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{2,33})2,33^{0,32} = 0,88$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50.p'} = \frac{2 - 0,88}{1} = 1,12$$

O valor da flecha no tempo infinito na carga permanente e:

$$\alpha_{t_{\infty}} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,167.(1 + 1,12) = 0,354 \text{ cm}$$

Somatório das flechas totais:

Tabela 15. Somatório das flechas ações permanentes.

SITUAÇÃO	a total (cm)
1º Situação	0,290
2º Situação	0,146
3º Situação	0,354
Total:	0,79

Fonte: o autor

Comparando com modo convencional que considera o carregamento atuando todo após a retirada do escoramento flecha foi de 1,63 cm para a ação permanente, com o método proposto a flecha foi consideravelmente menor antes não atendia a verificação nessa situação atendeu.

Flecha limite:

$$f_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{374}{250} = 1,496 \text{ cm}$$

11.2.10 Determinações da flecha para as ações quase permanentes, considerando um calendário de execução

- 1º Situação o peso próprio atuando com 14 dias, (retirada do escoramento).

Peso próprio da laje atuando na viga:

$$g_1 = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

Usando a tabela dos coeficientes para determinar as reações da laje na viga;

$$q_y = K_y \cdot \frac{p \cdot lx}{10} = 1,83 \cdot \frac{2,5 \cdot 3,74}{10} = 1,71 \text{ kN.m}$$

Peso próprio da viga atuando aos 14 dias (após retirada do escoramento).

$$g_1 = 1,5 \text{ kN.m}$$

Carregamento total:

$$g_1(\text{laje}) + g_1(\text{viga}) = 1,71 + 1,5 = 3,21 \text{ kN.m}$$

Momento fletor:

$$\frac{3,21 \cdot 3,74^2}{8} = 5,61 \text{ kN.m}$$

a) Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 45000}{15} = 807,75 \text{ kN.cm } 8,07 \text{ kN.m}$$

$$M_d = 5,61 \text{ kN.m} < M_r \text{ não fissuração}$$

Nessa situação como o momento atuante é menor que o momento de fissuração, pode ser concluído que na viga vai atuar a inércia no estágio I.

Cálculo para momento de inércia referente ao estágio I:

$$x_1 = \frac{b \cdot \frac{h^2}{2} + (\alpha e - 1) \cdot A_s \cdot d}{b \cdot h + (\alpha e - 1) \cdot A_s} = \frac{20 \cdot \frac{30^2}{2} + (8,33 - 1) \cdot 2,35 \cdot 27}{20 \cdot 30 + (8,33 - 1) \cdot 2,35} = 15,33 \text{ cm}$$

$$I_1 = \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot \left(x_1 - \frac{h}{2}\right)^2 + (\alpha e - 1) \cdot A_s \cdot (d - x_1)^2 =$$

$$I_1 \frac{20 \cdot 30^3}{12} + 20 \cdot 30 \cdot \left(15,33 - \frac{30}{2}\right)^2 + (8,33 - 1) \cdot 2,35 \cdot (27 - 15,33)^2 = 27207 \text{ cm}^4$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = 45000 \cdot \left(\frac{8,07}{5,61}\right)^3 + \left[1 - \left(\frac{8,07}{5,61}\right)^3\right] \cdot 27207 = 80171,05 \text{ cm}^4$$

Flecha imediata

$$\alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I_m} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,21}{100} \cdot \left(\frac{374^4}{2520 \cdot 80171,05}\right) = 0,21 \text{ cm}$$

$$\alpha_{fissurada} = \alpha_{imed} \cdot \frac{I_1}{I_m} = 0,21 \cdot \left(\frac{45000}{80171,05}\right) = 0,12 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 14 dias o carregamento quase permanente vai atuar todo após retirada do escoramento nessa data.

$$t_0 = \frac{14}{30} = 0,47$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{0,47})0,47^{0,32} = 0,53$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,53}{1} = 1,47$$

O valor da flecha no tempo infinito na carga quase permanente e:

$$\alpha_{t\infty} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,12 \cdot (1 + 1,47) = 0,29\text{cm}$$

- 2º Situação a carga da parede atuando após 50 dias.

Carga peso da parede:

$$\begin{aligned} g_2 &= (0,10 \cdot 13)2,50 = 3,25\text{kN} \cdot \text{m} + 3,21\text{kN} \cdot \text{m} (\text{peso próprio anterior}) \\ &= 6,46\text{kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

- a) Momento de fissuração:

$$\begin{aligned} M_r &= \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 45000}{15} = 807,75\text{kN} \cdot \text{cm} \quad 8,07\text{kN} \cdot \text{m} \\ M_d &= \frac{6,46 \cdot 3,74^2}{8} = 11,30 \quad M_d > M_r \text{ há fissuração} \end{aligned}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a viga irá fissurar, portanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

- b) Deformação excessiva:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,2565 \cdot 45000}{15} = 1154,25\text{kN} \cdot \text{cm} \quad 11,54\text{kN} \cdot \text{m}$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = 45000 \cdot \left(\frac{11,54}{11,30} \right)^3 + \left[1 - \left(\frac{11,54}{11,30} \right)^3 \right] \cdot 10054,41 = 47274,25 \text{ cm}^4$$

Flecha imediata

$$\alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I_m} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,25}{100} \cdot \left(\frac{374^4}{2520 \cdot 47274,25} \right) = 0,069 \text{ cm}$$

$$\alpha_{fissurada} = \alpha_{imed} \cdot \frac{I_I}{I_m} = 0,069 \cdot \left(\frac{45000}{47274,25} \right) = 0,066 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 50 dias para o carregamento quase permanente vai atuar o peso da parede após essa data.

$$t_0 = \frac{50}{30} = 1,66$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \quad \text{para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \quad \text{para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{1,66})01,66^{0,32} = 0,79$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta \xi}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,79}{1} = 1,21$$

O valor da flecha no tempo infinito na carga quase permanente:

$$\alpha_{t_{\infty}} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,066 \cdot (1 + 1,21) = 0,146 \text{ cm}$$

- 3º Situação o peso revestimento começa a atuar na estrutura após 70 dias.

Carga da laje atuando na viga (revestimento): $g_2 = 1,28 \text{ kN/m}^2$

Usando a tabela dos coeficientes para determinar as reações da laje na viga;

$$q_y = K_y \cdot \frac{p \cdot lx}{10} = 1,83 \cdot \frac{1,28 \cdot 3,74}{10} = 0,87 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Revestimento da parede sobre viga:

$$g_2(\text{parede})(0,03 \cdot 1,9)2,50 = 1,43 + (R. \text{laje})0,87 + 6,46(\text{anterior}) = 8,76 \text{ kN/m}^2$$

a) Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 45000}{15} = 807,75 \text{ kN} \cdot \text{cm} \quad 8,07 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_d = \frac{8,76 \cdot 3,74^2}{8} = 15,31 \text{ Md} > M_r \text{ há fissuração}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a viga irá fissurar, portanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

b) Deformação excessiva:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,2565 \cdot 45000}{15} = 1154,25 \text{ kN} \cdot \text{cm} \quad 11,54 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = 45000 \cdot \left(\frac{11,54}{15,31} \right)^3 + \left[1 - \left(\frac{11,54}{15,31} \right)^3 \right] \cdot 10054,41 = 25019,67 \text{ cm}^4$$

Flecha imediata

$$\alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I_m} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,30}{100} \cdot \left(\frac{374^4}{2520 \cdot 25019,67} \right) = 0,0929 \text{ cm}$$

$$a_{\text{fissurada}} = a_{\text{imed}} \cdot \frac{I_l}{I_m} = 0,0929 \cdot \left(\frac{45000}{25019,67} \right) = 0,167 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 70 dias o carregamento do revestimento vai começar a atuar.

$$t_0 = \frac{70}{30} = 2,33$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{2,33})2,33^{0,32} = 0,88$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,88}{1} = 1,22$$

O valor da flecha no tempo infinito para a carga quase permanente e:

$$\alpha_{t_{\infty}} = \alpha_{t_0}(1 + \alpha_f) = 0,167 \cdot (1 + 1,22) = 0,354 \text{ cm}$$

- 4ª Situação vai atuar aos 100 dias uma parcela do carregamento acidental.

Carga acidental da laje atuando na viga: $q = q \cdot \Psi_1 = 5,0 \cdot 0,4 = 2,0 \text{ kN/m}^2$

$$q_y = K_y \cdot \frac{p \cdot lx}{10} = 1,83 \cdot \frac{2,0 \cdot 3,74}{10} = 1,37 \text{ kN.m}$$

$$g_1 + g_2 + q = (\text{anterior}) 8,76 + 1,37 = 10,13 \text{ kN.m}$$

a) Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 45000}{15} = 807,75 \text{ kN.cm } 8,07 \text{ kN.m}$$

$$Md = \frac{10,13 \cdot 3,74^2}{8} = 17,71 \text{ kN.m } Md > Mr \text{ há fissuração}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a viga irá fissurar, portanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

b) Deformação excessiva:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,2565 \cdot 45000}{15} = 1154,25 \text{ kN.cm } 11,54 \text{ kN.m}$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma fórmula para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = 45000 \cdot \left(\frac{11,54}{17,71} \right)^3 + \left[1 - \left(\frac{11,54}{17,71} \right)^3 \right] \cdot 10054,41 = 19722,79 \text{ cm}^4$$

Flecha imediata

$$\alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I_m} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,0}{100} \cdot \left(\frac{374^4}{2520 \cdot 19722,79} \right) = 0,102 \text{ cm}$$

$$a_{fissurada} = a_{imed} \cdot \frac{I_l}{I_m} = 0,102 \cdot \left(\frac{45000}{19722,79} \right) = 0,234 \text{ m}$$

Consideração da fluência para o tempo de 100 dias, uma parcela do carregamento acidental vai atuar a partir dessa data.

$$t_0 = \frac{100}{30} = 3,33$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{3,33})3,33^{0,32} = 0,98$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50.p'} = \frac{2 - 0,98}{1} = 1,02$$

O valor da flecha no tempo infinito na carga quase permanente e:

$$\alpha_{t\infty} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,234(1 + 1,02) = 0,472cm$$

Somatório das flechas totais:

Tabela 16. Somatório das flechas ações quase permanentes

SITUAÇÃO	<i>a total(cm)</i>
1º Situação	0,290
2º Situação	0,146
3º Situação	0,354
4º Situação	0,472
Total:	1,262

Fonte: o autor

Comparando com modo convencional que considera o carregamento atuando todo após a retirada do escoramento foi de 2,91 cm, com o método proposto a flecha foi consideravelmente menor. Pois antes a flecha não atendia a verificação, nessa situação atendeu;

$$f_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{374}{250} = 1,496cm$$

11.2.11 Determinações da flecha para a ação rara, considerando um calendário de execução

- 1º Situação o peso próprio da laje atuando com 14 dias, (retirada do escoramento).

Peso próprio da laje atuando na viga:

$$g_1 = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

Usando a tabela dos coeficientes para determinar as reações da laje na viga;

$$q_y = K_y \cdot \frac{p \cdot lx}{10} = 1,83 \cdot \frac{2,5 \cdot 3,74}{10} = 1,71 \text{ kN.m}$$

Peso próprio da viga atuando aos 14 dias (após retirada do escoramento).

$$g_1 = 1,5 \text{ kN.m}$$

Carregamento total:

$$g_1(\text{laje}) + g_1(\text{viga}) = 1,71 + 1,5 = 3,21 \text{ kN.m}$$

Momento fletor:

$$\frac{3,21 \cdot 3,74^2}{8} = 5,61 \text{ kN.m}$$

a) Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 45000}{15} = 807,75 \text{ kN.cm } 8,07 \text{ kN.m}$$

$$M_d = 5,61 \text{ kN.m} < M_r \text{ não fissuração}$$

Nessa situação como o momento atuante é menor que o momento de fissuração, pode ser concluir que na viga vai atuar a inércia no estágio I.

Cálculo para momento de inércia referente ao estágio I:

$$x_1 = \frac{b \cdot \frac{h^2}{2} + (ae - 1) \cdot As \cdot d}{b \cdot h + (ae - 1) \cdot As} = \frac{20 \cdot \frac{30^2}{2} + (8,33 - 1) \cdot 2,35 \cdot 27}{20 \cdot 30 + (8,33 - 1) \cdot 2,35} = 15,33 \text{ cm}$$

$$I_1 = \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot \left(x_1 - \frac{h}{2}\right)^2 + (ae - 1) \cdot As \cdot (d - x_1)^2 =$$

$$I_1 \frac{20 \cdot 30^3}{12} + 20 \cdot 30 \cdot \left(15,33 - \frac{30}{2}\right)^2 + (8,33 - 1) \cdot 2,35 \cdot (27 - 15,33)^2 = 27207 \text{ cm}^4$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que e dado por:

$$I_m = 45000 \cdot \left(\frac{8,07}{5,61}\right)^3 + \left[1 - \left(\frac{8,07}{5,61}\right)^3\right] \cdot 27207 = 80171,05 \text{ cm}^4$$

Flecha imediata

$$\alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I_m} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,21}{100} \cdot \left(\frac{374^4}{2520 \cdot 80171,05}\right) = 0,21 \text{ cm}$$

$$\alpha_{fissurada} = \alpha_{imed} \cdot \frac{I_l}{I_m} = 0,21 \cdot \left(\frac{45000}{80171,05}\right) = 0,12 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 14 dias a carga devido ao peso próprio irá atuar toda após retirada do escoramento nessa data.

$$t_0 = \frac{14}{30} = 0,47$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{0,47})0,47^{0,32} = 0,53$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,53}{1} = 1,47$$

O valor da flecha no tempo infinito na carga permanente e:

$$\alpha_{t\infty} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,12 \cdot (1 + 1,47) = 0,29 \text{ cm}$$

- 2º Situação a carga da parede atuando após 50 dias.

Carga peso da parede:

$$g_2 = (0,10.13)2,50 = 3,25kN.m + 3,21kN.m(\text{peso próprio anterior}) \\ = 6,46kN.m$$

a) Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{1,5.0,1795.45000}{15} = 807,75kN.cm \quad 8,07kN.m \\ Md = \frac{6,46.3,74^2}{8} = 11,30kN.m \quad Md > Mr \text{ há fissuração}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a viga irá fissurar, por tanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

b) Deformação excessiva:

$$M_r = \frac{1,5.0,2565.45000}{15} = 1154,25kN.cm \quad 11,54kN.m$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = 45000 \cdot \left(\frac{11,54}{11,30}\right)^3 + \left[1 - \left(\frac{11,54}{11,30}\right)^3\right] \cdot 10054,41 = 47274,25cm^4$$

Flecha imediata

$$\alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I_m} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,25}{100} \cdot \left(\frac{374^4}{2520 \cdot 47274,25}\right) = 0,069cm \\ \alpha_{fissurada} = \alpha_{imed} \cdot \frac{I_l}{I_m} = 0,069 \cdot \left(\frac{45000}{47274,25}\right) = 0,066cm$$

Consideração da fluência para o tempo de 50 dias vai atuar a carga da parede nessa data.

$$t_0 = \frac{50}{30} = 1,66$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{1,66})01,66^{0,32} = 0,79$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,79}{1} = 1,21$$

O valor da flecha no tempo infinito na carga rara e:

$$\alpha_{t_\infty} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,066 \cdot (1 + 1,21) = 0,146\text{cm}$$

- 3º Situação o peso revestimento começa atuar na estrutura após 70 dias.

Carga da laje atuando na viga (revestimento): $g_2 = 1,28 \text{ kN/m}^2$

Usando a tabela dos coeficientes para determinar as reações da laje na viga;

$$q_y = K_y \cdot \frac{p \cdot lx}{10} = 1,83 \cdot \frac{1,28 \cdot 3,74}{10} = 0,87 \text{ kN.m}$$

Revestimento da parede sobre viga:

$$g_2(\text{parede})(0,03 \cdot 19)2,50 = 1,43 + (R. \text{laje})0,87 + 6,46(\text{anterior}) = 8,76\text{kN/m}^2$$

- a) Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 45000}{15} = 807,75 \text{ kN.cm } 8,07 \text{ kN.m}$$

$$M_d = \frac{8,76 \cdot 3,74^2}{8} = 15,31 \text{ Md} > M_r \text{ há fissuração}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a viga irá fissurar, portanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

b) Deformação excessiva:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,2565 \cdot 45000}{15} = 1154,25 \text{ kN.cm } 11,54 \text{ kN.m}$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = 45000 \cdot \left(\frac{11,54}{15,31} \right)^3 + \left[1 - \left(\frac{11,54}{15,31} \right)^3 \right] \cdot 10054,41 = 25019,67 \text{ cm}^4$$

Flecha imediata

$$\alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I_m} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,30}{100} \cdot \left(\frac{374^4}{2520 \cdot 25019,67} \right) = 0,0929 \text{ cm}$$

$$a_{fissurada} = a_{imed} \cdot \frac{I_l}{I_m} = 0,0929 \cdot \left(\frac{45000}{25019,67} \right) = 0,167 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 70 dias o carregamento do revestimento vai atuar nessa data.

$$t_0 = \frac{70}{30} = 2,33$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{2,33})2,33^{0,32} = 0,88$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,88}{1} = 1,22$$

O valor da flecha no tempo infinito para a carga rara e:

$$\alpha_{t\infty} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,167 \cdot (1 + 1,22) = 0,354 \text{ cm}$$

- 4º Situação da carga rara: vai atuar aos 100 dias o carregamento accidental.

Carga accidental da laje atuando na viga: $q = 5,0 \text{ kN/m}^2$

$$q_y = K_y \cdot \frac{p \cdot lx}{10} = 1,83 \cdot \frac{5,0 \cdot 3,74}{10} = 3,42 \text{ kN.m}$$

$$g_1 + g_2 + q = (\text{anterior})8,76 + 3,42 = 12,18 \text{ kN.m}$$

a) Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,1795 \cdot 45000}{15} = 807,75 \text{ kN.cm } 8,07 \text{ kN.m}$$

$$M_d = \frac{12,18 \cdot 3,74^2}{8} = 21,29 \text{ kN.m } M_d > M_r \text{ há fissuração}$$

Como o momento atuante é maior que o momento de fissuração, a viga irá fissurar, portanto a sua deformação deve levar em conta a inércia média de BRANSON.

b) Deformação excessiva:

$$M_r = \frac{1,5 \cdot 0,2565 \cdot 45000}{15} = 1154,25 \text{ kN} \cdot \text{cm} \quad 11,54 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

A ABNT NBR 6118:2014 traz em seu item 17.3.2.1, uma forma para obtenção da flecha imediata de maneira aproximada através da rigidez equivalente que é dado por:

$$I_m = 45000 \cdot \left(\frac{11,54}{21,29} \right)^3 + \left[1 - \left(\frac{11,54}{21,29} \right)^3 \right] \cdot 10054,41 = 15619,63 \text{ cm}^4$$

Flecha imediata

$$\alpha = \frac{5}{384} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I_m} = \frac{5}{384} \cdot \frac{5,0}{100} \cdot \left(\frac{374^4}{2520 \cdot 15619,63} \right) = 0,323 \text{ cm}$$

$$\alpha_{fissurada} = \alpha_{imed} \cdot \frac{I_l}{I_m} = 0,323 \cdot \left(\frac{45000}{15619,63} \right) = 0,932 \text{ cm}$$

Consideração da fluência para o tempo de 100 dias o carregamento acidental vai atuar após essa data.

$$t_0 = \frac{100}{30} = 3,33$$

Para os coeficientes, ξ para a idade $t_0 = 0,47$ para o tempo infinito são:

$$\xi(t) = 0,68(0,996^t)t^{0,32} \quad \text{para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \quad \text{para } t > 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 0,68(0,996^{3,33})3,33^{0,32} = 0,98$$

Como não há armadura comprimida, então $p' = 0$, resultando num valor α_f :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,98}{1} = 1,02$$

O valor da flecha no tempo infinito na carga rara é:

$$\alpha_{t_{co}} = \alpha_{t,0}(1 + \alpha_f) = 0,932(1 + 1,02) = 1,88cm$$

Somatório das flechas totais:

Tabela 16. Somatório das flechas ação rara

SITUAÇÃO	<i>a total(cm)</i>
1º Situação	0,290
2º Situação	0,146
3º Situação	0,354
4º Situação	1,882
Total:	2,67

Fonte: o autor

Comparando com modo convencional que considera o carregamento atuando todo após a retirada do escoramento foi de 5,56 cm, com o método proposto a flecha foi consideravelmente menor.

11.2.12 Determinação da flecha para a ação variável, considerando um calendário de execução.

Considerando o carregamento atuando na estrutura em tempos diversos a flecha devida a ação variável.

$$f_{ação\ variável} = a_{rara} - a_{permente} =$$

$$f_{ação\ variável} = 2,67 - 0,79 = 1,88cm$$

A flecha devido a ação variável considerando o calendário de entrada das cargas foi consideravelmente menor que no modo convencional provando assim a eficácia do método.

Tabela 17. Comparativo da flecha devida a ação rara, considerando dimensionamento com, e sem um calendário de execução

Flecha devida a ação variável, modo convencional.	Flecha devida a ação variável, levando em consideração o calendário de execução.
3,93 cm	1,88 cm

Fonte: o autor

$$a_{tim} = \frac{1}{350} = \frac{374}{350} = 1,07cm$$

Na flecha divido a ação variável em ambos os métodos não atendeu a verificação, porem no método que considera um calendário da execução a flecha foi consideravelmente menor, podendo aplicar o recurso de contra flecha bem menor que do modo convencional.

... a execução em condições de trabalho programada no qual a carga de trabalho se pode programar para reduzir os riscos de acidentes de trabalho, e para 20 dias consecutivos a carga de trabalho se pode reduzir a partir do momento em que se dá a execução da carga de trabalho, permitindo uma melhor distribuição de cargas de trabalho em períodos de trabalho.

Tabela 1. Comparação entre os métodos de cálculo de flecha de um pavimento rígido em condições de trabalho programado e convencional, considerando a carga variável de trabalho em termos de horas.

Tempo de execução (horas)	Flecha calculada por método convencional (mm)	Flecha calculada por método de trabalho programado (mm)	Tempo de trabalho (horas)	% redução de flecha
100	10,00	9,97	100	0,3%
200	10,00	9,94	100	0,1%
300	10,00	9,70	100	3,7%
400	10,00	9,53	100	4,7%
500	10,00	9,39	100	6,0%
600	10,00	9,29	100	7,0%
700	10,00	9,24	100	7,8%
800	10,00	9,20	100	8,4%
900	10,00	9,17	100	8,9%
1000	10,00	9,15	100	9,2%

A flecha calculada por método convencional em condições de trabalho programado é menor que a calculada por método convencional em condições de trabalho convencional, pois a carga de trabalho é menor e a duração do trabalho é menor, pois a carga de trabalho é menor e a duração do trabalho é menor.

... a redução de carga de trabalho e a duração do trabalho em condições de trabalho programado é menor que a calculada por método convencional em condições de trabalho convencional, pois a carga de trabalho é menor e a duração do trabalho é menor.

... a redução de carga de trabalho e a duração do trabalho em condições de trabalho programado é menor que a calculada por método convencional em condições de trabalho convencional, pois a carga de trabalho é menor e a duração do trabalho é menor.

12 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

12.1 Cronograma I

Levando em consideração o primeiro cronograma no qual a carga devido ao peso próprio passa a atuar 14 dias após a retirada do escoramento, e com 20 dias começa a atuar a sobrecarga da parede, e aos 25 dias o peso do revestimento e aos 30 dias atuação da carga accidental, comparando com modo convencional de entrada de cargas obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 18. Comparativo modo que considera a atuação do carregamento todo após retirada escoramento, com o cronograma I que considera entrada das ações em tempos diversos.

	Tipo de carregamento	Flecha admitindo que todas as cargas vão entrar na data da retirada das escoras	Cronograma I	Flecha limite	Porcentagem de redução da flecha final
Laje	Peso próprio	0,074 cm	0,074 cm	-	0 %
	Permanente	0,360 cm	0,194 cm	1,50 cm	46,1 %
	Quase permanente	1,561 cm	0,707 cm	1,50 cm	54,7 %
	Rara	4,830 cm	2,653 cm	-	45,0 %
	Ação Variável	4,470 cm	2,459 cm	1,07 cm	45,0 %
Viga	Peso próprio	0,299 cm	0,299 cm	-	0 %
	Permanente	1,630 cm	0,848 cm	1,50 cm	47,9 %
	Quase permanente	2,911 cm	1,3926 cm	1,50 cm	52,1 %
	Rara	5,560 cm	3,013 cm	-	45,8 %
	Ação Variável	3,930 cm	2,165cm	1,07 cm	44,9 %

Fonte: O autor.

A flecha devido ao peso próprio não se alterou quando se levou em consideração o cronograma de execução, pois está admitindo que essa carga passa a atuar aos 14 dias após a retirada do escoramento, tanto para a laje quanto para a viga nas duas situações deste comparativo.

Para a situação do carregamento permanente a flecha houve uma redução de 46,1% para laje e de 47,9% para a viga no modelo que considera um cronograma de entrada das cargas, e a flecha limite que não atendia a verificação da viga quando se admitia o carregamento atuando todo após a retirada das escoras, nessa situação a verificação é atendida.

Considerando para o carregamento quase permanente a redução foi mais expressiva sendo de 54,7% para a laje e de 52,1%, em ambas as situações em que a flecha limite não

atendia a verificação, e quando se utilizou o cronograma de execução nas duas situações a verificação foi atendida.

Já para a carga rara houve uma redução de 45,0% na flecha da laje, e de 45,8% na viga, para as duas situações considerou-se o carregamento atuando em tempos diversos de acordo com um calendário de execução.

E por fim para a ação variável a flecha teve uma redução de 45% na laje e de 44,9% para a viga, em ambas as situações apesar da flecha ainda não atender a verificação limite, com essa redução possibilitasse aplicar um contra flecha bem menor do que quando se considerou o carregamento atuando do modo convencional.

12.2 Cronograma II

Consideração o segundo cronograma no qual a carga devido ao peso próprio passa a atuar na estrutura com 14 dias após a retirada do escoramento, com 30 dias passa a atuar a sobrecarga da parede, e aos 40 dias passa a atuar o peso do revestimento e pôr fim aos 60 dias vai atuar a ação acidental, comparando com modo convencional de entrada de cargas obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 19. Comparativo modo que considera a atuação do carregamento todo após retirada escoramento, com o cronograma II que considera entrada das ações em tempos diversos.

	Tipo de carregamento	Flecha admitindo que todas as cargas vão entrar na data da retirada das escoras	Cronograma II	Flecha limite	Porcentagem de redução da flecha final
Laje	Peso próprio	0,074cm	0,074cm	-	0%
	Permanente	0,360cm	0,187cm	1,50cm	48,0%
	Quase permanente	1,561cm	0,666cm	1,50cm	57,3%
	Rara	4,830cm	2,649cm	-	45,1%
	Ação Variável	4,470cm	2,462cm	1,07cm	44,9%
Viga	Peso próprio	0,299cm	0,299cm	-	0%
	Permanente	1,630cm	0,826cm	1,50cm	49,3%
	Quase permanente	2,911cm	1,331cm	1,50cm	54,2%
	Rara	5,560cm	2,837cm	-	48,9%
	Ação Variável	3,930cm	2,011cm	1,07cm	48,8%

Fonte: O autor.

A flecha devido ao peso próprio não se alterou quando se levou em consideração o cronograma de execução, pois está se admitindo que essa carga passa atuar aos 14 dias após a retirada do escoramento tanto para a laje quanto para a viga em ambas as situações.

Para a situação do carregamento permanente a flecha teve uma redução de 48% para a laje e de 49,3% para a viga, e nessa situação a flecha limite que antes não atendia a verificação da viga, mas quando se levou em consideração o calendário de execução a flecha limite atendeu a verificação.

O resultado do comparativo para o carregamento quase permanente houve uma redução bem maior, sendo de 57,3% para a laje e de 54,2% para a viga, para as duas situações a flecha limite não atendia a verificação no modo convencional no qual considera as ações atuando todas após retirada do escoramento, e quando se utilizou o método proposto neste estudo nas duas situações a flecha atendeu a verificação.

Para o comparativo da carga rara houve uma redução de 45,1% para a laje e de 48,9% para a viga, na situação que considerando o carregamento atuando em tempos diversos na estrutura.

E para a ação variável a flecha houve uma redução de 44,9% para a laje e de 48,8% para a viga, nas duas situações apesar da flecha ainda não atender a verificação limite, com essa redução possibilitasse aplicar um contra flecha bem menor, se comparada com método que se considera o carregamento atuando todo após a retirada do escoramento;

12.3 Cronograma III

O terceiro cronograma considera a carga devido ao peso próprio atuando na estrutura com 14 dias após a retirada do escoramento, com 50 dias vai atuar a sobrecarga da parede, e com 70 dias vai atuar o peso do revestimento e aos 100 dias vai atuar a carga acidental, e comparando com modo convencional de entrada de cargas obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 20. Comparativo modo que considera a atuação do carregamento todo após retirada escoramento, com o cronograma III que considera entrada das ações em tempos diversos.

	Tipo de carregamento	Flecha admitindo que todas as cargas vão entrar na data da retirada das escoras	Cronograma III	Flecha limite	Porcentagem de redução da flecha final
Laje	Peso próprio	0,074cm	0,074cm	-	0%
	Permanente	0,360cm	0,180cm	1,50cm	50,0%
	Quase permanente	1,561cm	0,626cm	1,50cm	59,8%
	Rara	4,830cm	2,471cm	-	48,8%
	Ação Variável	4,470cm	2,291cm	1,07cm	48,7%
Viga	Peso próprio	0,299cm	0,299cm	-	0%
	Permanente	1,630cm	0,795cm	1,50cm	51,2%
	Quase permanente	2,911cm	1,2663cm	1,50cm	56,5%
	Rara	5,560cm	2,672 cm	-	51,9%
	Ação Variável	3,930cm	1,877cm	1,07cm	52,2%

Fonte: O autor.

A flecha devido ao peso próprio não ocorre alteração pois está se considerando que em ambas as situações que a carga devido ao peso próprio passa atuar após a retirada do escoramento aos 14 dias.

Já para a situação do carregamento permanente a flecha houve uma redução de 50% para a laje e de 51,2% para a viga, tanto a laje como a viga a flecha limite não atendia a verificação, mais quando se levou em consideração o calendário de execução a mesma entrou para o limite de verificação.

Para o carregamento quase permanente houve uma redução de 59,8% para a laje e de 56,5% para a viga, nessas duas situações a flecha limite não atendia a verificação, e quando se utilizou o método que considera o cronograma de execução, as duas situações a flecha atenderam a verificação.

Para a carga rara houve uma redução de 48,8% para a laje e de 51,9% para a viga, quando foi considerado o carregamento atuando em tempos diversos na estrutura de acordo com um calendário de execução.

E para a ação variável a flecha houve redução de 48,7% para a laje e de 52,2% para a viga, nessas duas situações apesar da flecha ainda não atender a verificação limite, com essa redução possibilitasse aplicar um contra flecha bem menor que no modo convencional.

12.4 Cronograma IV

O quarto cronograma considera que o peso próprio passa a atuar 14 dias após a retirada do escoramento, com 90 dias vai atuar a sobrecarga da parede, com 120 dias vai atuar o peso do revestimento e aos 180 dias atua a carga acidental, e comparando com modo convencional de entrada de cargas obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 21. Comparativo modo que considera a atuação do carregamento todo após retirada escoramento, com o cronograma IV que considera entrada das ações em tempos diversos.

	Tipo de carregamento	Flecha admitindo que todas as cargas vão entrar na data da retirada das escoras	Cronograma IV	Flecha limite	Porcentagem de redução da flecha final
Laje	Peso próprio	0,074cm	0,074cm	-	0%
	Permanente	0,360cm	0,172cm	1,50cm	52,2%
	Quase permanente	1,561cm	0,576cm	1,50cm	63,1%
	Rara	4,830cm	2,246cm	-	53,5%
	Ação Variável	4,470cm	2,074cm	1,07cm	53,6%
Viga	Peso próprio	0,299cm	0,299cm	-	0%
	Permanente	1,630cm	0,790cm	1,50cm	51,5%
	Quase permanente	2,911cm	1,184cm	1,50cm	59,3%
	Rara	5,560cm	2,456cm	-	55,8%
	Ação Variável	3,930cm	1,666cm	1,07cm	57,6%

Fonte: O autor.

Não houve alteração na flecha devido ao peso próprio, porque foi considerado em ambas as situações que aos 14 dias após a retirada do escoramento começa atuar essa carga, tanto para a laje como para a viga nos dois métodos estudados.

No caso do carregamento permanente a flecha teve redução de 52,2% para a laje e de 51,5% para a viga, no comparativo em questão a flecha limite que não atendia a verificação da viga, mais quando se leva em consideração o calendário de execução a mesma atendeu a verificação.

Para o carregamento quase permanente houve uma redução significativa sendo de 63,1% para a laje e de 59,3% para a viga, para as duas situações a flecha limite não atendia a verificação, mais quando se utilizou o método em que se considera um cronograma de atuação das cargas, nas duas situações a flecha atendeu a verificação.

Para a carga rara houve uma redução de 53% para a laje e de 56% para a viga, na situação que foi considerado o carregamento atuando em tempos diversos na estrutura.

Já para a ação variável a flecha houve uma redução de 53,6% para a laje e de 57,8% para a viga, nas duas situações apesar da flecha ainda não atender a verificação limite, com essa redução possibilitasse aplicar um contra flecha bem menor que no modo convencional.

12.5 Cronograma V

O quinto cronograma a carga devido ao peso próprio passa a atuar na estrutura com 14 dias após a retirada do escoramento, com 120 dias atua a sobrecarga da parede, e com 240 dias vai atuar o peso do revestimento e aos 360 dias a carga acidental, e comparando com modo convencional de entrada de cargas obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 22. Comparativo modo que considera a atuação do carregamento todo após retirada escoramento, com o cronograma V que considera entrada das ações em tempos diversos.

	Tipo de carregamento	Flecha admitindo que todas as cargas vão entrar na data da retirada das escoras	Cronograma V	Flecha limite	Porcentagem de redução da flecha final
Laje	Peso próprio	0,074 cm	0,074 cm	-	0%
	Permanente	0,360 cm	0,160 cm	1,50 cm	55,5%
	Quase permanente	1,561 cm	0,506 cm	1,50 cm	67,5%
	Rara	4,830 cm	1,938 cm	-	59,8%
	Ação Variável	4,470 cm	1,778 cm	1,07 cm	60,2%
Viga	Peso próprio	0,299 cm	0,299 cm	-	0%
	Permanente	1,630 cm	0,713 cm	1,50 cm	56,2%
	Quase permanente	2,911 cm	1,078 cm	1,50 cm	62,9%
	Rara	5,560 cm	2,170 cm	-	60,9%
	Ação Variável	3,930 cm	1,457 cm	1,07 cm	62,9%

Fonte: O autor.

A flecha devido ao peso próprio não se altera quando se levou em consideração o cronograma de execução, pois em ambas as situações admitisse que essa carga passa atuar aos 14 dias após a retirada do escoramento tanto para a laje quanto para a viga.

Para a situação do carregamento permanente a flecha houve uma redução de 55,5% para a laje e de 56,6% para a viga, e para essa situação a flecha limite não era atendida para a viga, porem quando se levou em consideração o calendário de execução a flecha atendeu o limite de verificação.

O comparativo para o carregamento quase permanente houve uma redução bem expressiva sendo de 67,5% para a laje e de 62,9% para a viga, e em ambas as situações a flecha limite não atendia a verificação no modo convencional, porém quando se utilizou o método que considera o cronograma de execução, nas duas situações a flecha atendeu a verificação.

Para o comparativo da carga rara houve uma redução de 59,8% para a laje e de 60,9% para a viga, considerando nessa situação que o carregamento atuando em tempos diversos na estrutura.

Para ação variável a flecha houve uma redução de 60,2% para a laje e de 62,9% para a viga, nas duas situações apesar da flecha ainda atender a verificação limite, com essa redução possibilitasse aplicar um contra flecha bem menor se comparada com modo que se considera o carregamento atuando do modo convencional.

12.6 Seção alterada

Para uma visão mais ampla deste estudo realizou-se o dimensionamento a fim que todas as verificações da flecha limite fosse atendidas sem a necessidade de utilizar um cronograma de atuação das cargas. Segue abaixo o comparativo entre dimensionamento do modo convencional que foi utilizado neste estudo, no qual as verificações não foram atendidas, e comparando com a situação em que se adotou dimensões maiores, que por consequência as verificações foram satisfeitas, nessas duas situações foi levado em consideração que todas as cargas vão atuar ao mesmo instante após a retira das escoras aos 14 dias.

Tabela 23. Comparativo entre as dimensões usada no comparativo com a que passa em todas as verificações.

Tipo de carregamento	Flecha utilizada como comparativo deste estudo com seção menor.	Flecha com seção maior	Flecha limite
	Laje 10 cm	Laje 14 cm	
Peso próprio	0,074 cm	0,013 cm	-
Permanente	0,360 cm	0,048 cm	1,50 cm
Quase permanente	1,561 cm	0,186 cm	1,50 cm
Rara	4,830 cm	0,729 cm	-
Ação Variável	4,470 cm	0,681 cm	1,07 cm
	Viga 20 x 30	Viga 20 x 40	
Peso próprio	0,299 cm	0,022 cm	-
Permanente	1,630 cm	0,069 cm	1,50 cm
Quase permanente	2,911 cm	0,163 cm	1,50 cm
Rara	5,560 cm	0,460 cm	-
Ação Variável	3,930 cm	0,393 cm	1,07 cm

Fonte: o autor

Comparando as duas situações pode se notar que quando se aumentou as seções as verificações das flechas limites foram todas atendidas sem a necessidade de se considerar o uso de um cronograma de atuação das cargas proposto por esse estudo, porem para essa situação demandou seções bem maiores do que as utilizadas quando se considera a entrada gradativa das ações na estrutura, ocasionando o aumento do uso de material e elevando o peso próprio da estrutura.

13 CONCLUSÃO

Quando considerou-se o carregamento total, atuando na estrutura, logo após a retirada do escoramento, não atendeu-se as verificações necessárias: para a ação permanente na viga, nas ações quase permanente e ação variável para laje e a viga.

Porém ao se considerar a utilização de calendários de atuação das cargas as deformações; constatou-se uma redução significativa, variando de acordo com tempo de execução do empreendimento. Isto, aponta que quanto maior tempo de execução de um empreendimento, maior é a redução da deformação.

Com o valor reduzido nas deformações, as principais verificações dos estados limites são atendidas. Mesmo as deformações que ainda não atendam as verificações (via calendário de entrada de cargas) passam a apresentar valores mais baixos, podendo assim dar um contra flecha bem menor que quando se adota o método convencional de avaliação da deformação.

Fazendo o comparativo de uma laje e viga com uma seção menor que não atende as verificações da flecha no modo convencional, com elementos com dimensões maiores que atenta toda as verificações pode se concluir que, poderia fazer com que toda as verificações fossem atendidas sem a necessidade de se utilizar-se um cronograma de execução, porém melhorando o processo de cálculo, viabilizou que a laje e a viga que antes não atendia as verificações, atenda com seções bem menores que as utilizadas no modo convencional para previsão das deformações, reduzindo assim o peso próprio da estrutura e diminuindo consideravelmente consumo de material .

Embora a NBR 6118:2014 não faça nem uma menção com relação a consideração de calendários de atuação das ações, este estudo mostrou a importância desta consideração nos dias atuais, para que se possa viabilizar as verificações das deformações, onde demonstrou-se uma redução da deformação final em percentuais são da ordem de 67,5 % para laje e de 62,9% para viga, na flecha devido o carregamento quase permanente para o calendário cinco proposto por este estudo.

Esse estudo de caso, forneceu resultados fundamentais que apontam que a otimização dos modelos de previsão da flecha deferida ao longo do tempo, com o uso de modelos de cálculos mais refinados, pode reduzir consideravelmente a deformação final e as dimensões dos elementos quando comparados com os valores obtidos através dos cálculos convencionais, comprovando assim a eficiência do estudo proposto.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Augusto Teixeira. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. São Carlos, 1998. Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/1999ME_AugustoTeixeiradeAlbuquerque.pdf>. Acesso em: 03 de abril. 2015.
- AL-MANASSEER, A., LAM, J. P. **Statistical evaluation of shrinkage and creep models**. ACI Materials Journal, May-June, 2005; p. 170-176.
- ARAÚJO, José Milton de. **Estruturas de concreto: modelos de previsão da fluência e da retração do concreto**. Rio Grande: Dunas, 2002. p. 25.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: projeto de estruturas de concreto - procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. Junho. p. 3, 56, 61, 62, 74, 207.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1980. Junho.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1988. Junho.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681: ações e segurança nas estruturas - procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. Junho. p. 3.
- CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues. **Cálculo e detalhamentos de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014**. São Carlos: EDUFSCAR, 2014. 4ª Edição. p.319
- CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. São Paulo: Pini, 2009. 1ª Edição volume 2.
- FERNANDES, Murilo Zechinelli; GALETTI, Renê Alexandre. **Estudo comparativo de pavimentos de edifícios de concreto armado**. Barretos, dez. 2005. Disponível em: <http://www.feb.br/index.php/extensao/resultado-unifeb-music-run/doc_download/735-tcc-2005>. Acesso em: 03 de abril. 2015. p. 8.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep%2Fbdmep>>. Acesso em: 06 de maio. 2015.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. PINI, São Paulo, 2008.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: PINI, 1997. p. 828

ANEXO B – Projeto arquitetônico do 2º pavimento

ANEXO A – Projeto arquitetônico do 1º pavimento