

ANÁLISE ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO EM CONCRETO ARMADO SOB AÇÃO DE INCÊNDIO UTILIZANDO O SOFTWARE TQS: INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

Agada Costa Rosaneli¹, Soliana Holek², Paola Regina Dalcanal³

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco / Egressa do Curso de Engenharia Civil /
agada.rosaneli@gmail.com

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco/ Egressa do Curso de Engenharia Civil /
solianaholek16@gmail.com

³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco/ Departamento de Construção Civil /
paolardalcanal@utfpr.edu.br

Resumo

No Brasil, durante a década de 70, a discussão sobre os riscos de incêndios em edificações ganhou ênfase em resposta aos sinistros ocorridos em São Paulo, que acarretaram danos patrimoniais, culturais e ambientais para o país, resultando em revisões e elaborações de normatizações voltadas para a segurança nesse contexto. Entretanto, esse setor apresenta escassez de estudos práticos que discutam a influência e o impacto destas normas na segurança estrutural de edifícios e suas características construtivas, especialmente considerando a resistência característica à compressão do concreto. Diante disso, este artigo apresenta o dimensionamento de uma estrutura em concreto armado, de um edifício de 14 pavimentos, simulado sob a ação de incêndio, com base em normas técnicas brasileiras e utilizando o software TQS. Faz-se a análise estrutural, baseada primeiramente na NBR 6118 (ABNT, 2014) e em estudos referenciais, prosseguindo com a verificação da estrutura sob a ação de incêndio conforme critérios da NBR 15200 (ABNT, 2012). Neste estudo, a influência da resistência característica à compressão do concreto é analisada ao se comparar os resultados do dimensionamento estrutural para as resistências de 30 MPa e 50 MPa. Especificamente, avalia-se o impacto nas equações de verificação à ação de incêndio, em especial no tempo de resistência ao fogo (TRF) do elemento estrutural. A análise indicou que, com o aumento do valor da resistência característica à compressão do concreto, obtém-se um edifício mais estável e capaz de suportar cargas mais elevadas em situações normais de temperatura, gerando mais eficiência no suporte de cargas quando o edifício for submetido ao incêndio e aumentando o tempo de resistência ao fogo. Assim, ao longo do estudo, foram identificados parâmetros e formulações que variam, contribuindo para aprimorar pesquisas existentes e compreender a influência da resistência característica à compressão do concreto em estruturas submetidas a incêndios, um campo ainda pouco explorado.

Palavras-chave

Resistência ao Fogo; Estrutura de Concreto Armado; ABNT NBR 15200/2012; ABNT NBR 6118/2014.

Introdução

Normalmente, as edificações são projetadas considerando a temperatura ambiente. No entanto, em determinadas situações, é necessário considerar a ação excepcional do fogo, levando em conta o uso, ocupação e porte da edificação, bem como o número de ocupantes (Silva, 2012). Isso torna-se ainda mais importante quando se trata de estruturas em concreto armado, já que este material, ao ser exposto a altas temperaturas, pode ter suas propriedades alteradas. Segundo Bolina *et al* (2018) essas mudanças podem resultar em perda de resistência e aderência entre o cimento e o agregado, além de

provocar fissuras ou deslocamento de seções, podendo levar ao colapso estrutural. Portanto, considerar esses aspectos na fase de projeto, proporciona maior segurança e controle no estágio inicial do incêndio, permitindo mais tempo para a evacuação das pessoas (RIBEIRO, 2019).

As normas técnicas são fundamentais para garantir a segurança estrutural, em especial, em situações de incêndio. A NBR 15200 - Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio (ABNT, 2012) especifica os procedimentos e metodologias para o dimensionamento de estruturas em situação de incêndio, enquanto a NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento (ABNT, 2014) trata especificamente do dimensionamento de estruturas de concreto armado. Estas normas devem ser utilizadas em conjunto para garantir que os elementos estruturais atendam aos requisitos de resistência ao fogo.

Ferramentas computacionais, como o software TQS, auxiliam na análise de questões mais complexas de dimensionamento, incluindo a verificação contra incêndios. O software permite gerar relatórios detalhados de cada elemento estrutural, sendo possível analisar e interpretar dados a fim de que o projeto esteja em conformidade com as normatizações.

Assim, esse estudo tem como objetivo analisar a influência da resistência característica à compressão do concreto no comportamento estrutural de um edifício de múltiplos pavimentos em concreto armado, submetido à ação de incêndio, utilizando o software TQS. A análise comparativa foi realizada com base nas resistências de 30 MPa e 50 MPa, com foco no atendimento aos estados-limites últimos (ELU) e aos estados-limites de serviço (ELS), apresentando conceitos e normas técnicas necessários ao dimensionamento de estruturas em concreto armado sob situação de incêndio.

Premissas do dimensionamento estrutural

Este estudo se baseou em um projeto desenvolvido por Poletto (2022), que analisou estruturalmente um edifício frente à situação de incêndio. Desta forma, o projeto arquitetônico partiu do mesmo utilizado pelo autor, obtido pela plataforma BIBLIOCAD (2023), porém com algumas modificações, com relação ao número de pavimentos e concepções estruturais. Trata-se de um edifício de 14 pavimentos com 50,4 m de altura.

O pré-dimensionamento dos elementos estruturais levou em consideração as cargas de utilização, ambientes, paredes e arquitetura do edifício. Para isso, os carregamentos considerados seguiram as recomendações da NBR 6120 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações (ABNT, 2019). Para as ações permanentes, as principais cargas consideradas foram revestimento de pisos de edifícios residenciais e comerciais com 5 cm de espessura, correspondente a 100 kgf/m², e forros de gesso acartonado, com 25 kgf/m². Além disso, para a cobertura se considerou uma impermeabilização com manta asfáltica com 10 cm de espessura, equivalente a 180 kgf/m².

Quanto às ações variáveis, foi necessário avaliar a finalidade de cada ambiente, por exemplo, em dormitórios, salas e sanitários utilizou-se uma carga uniformemente distribuída de 150 kgf/m², já em locais como academia, jardins e escadas, considerou-se 300 kgf/m². Para áreas como piscina e jardim, consideraram-se carregamentos verticais e empuxos, provenientes tanto da água como do solo, entretanto, nos elementos construtivos, em especial na laje, levou-se em consideração apenas o carregamento vertical.

A fundação não foi de fato dimensionada, uma vez que não se tem dados do solo a ser considerado, sendo assim, definiu-se o edifício como engastado ao solo. Na estrutura foi utilizada a laje maciça,

pois apresenta melhor desempenho frente aos esforços e deslocamentos, permitindo menores espessuras devido à sua disposição bidirecional.

Premissas do dimensionamento de estruturas sob a ação de incêndio

Partindo-se da premissa de que nem toda estrutura precisa ser verificada com relação ao incêndio, pois isso depende da classificação da edificação bem como seu uso e ocupação, analisa-se o disposto na NBR 14432 - Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações (ABNT, 2001), onde é possível classificar a edificação quanto ao grupo e consultar posteriormente na tabela do Código de Segurança contra incêndio e pânico (CSCIP, 2021) quais as medidas de segurança que devem ser adotadas.

Caso uma das medidas de segurança a serem tomadas seja a verificação quanto à situação de incêndio, é necessário adotar no projeto parâmetros e variáveis da NBR 15200 (ABNT, 2012) e tomar conhecimento nas definições envolvendo o tempo de resistência ao fogo (TRF) e o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF).

O TRF é o tempo máximo em que um elemento construtivo mantém sua função estrutural durante um incêndio (Costa, 2008). Para o cálculo do TRF, o TQS utiliza os métodos tabular e analítico para pilares, conforme a norma (TQS Docs, 2023).

De acordo com a NBR 14432 (ABNT, 2001) o TRRF é o tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão. Ele pode ser obtido pelo método tabular ou pelo método do tempo equivalente, podendo ser reduzido em até 30 minutos para edificações com características favoráveis à segurança contra incêndio (Silva, 2012).

No caso deste estudo, haja vista que se trata de um edifício que ultrapassa 30 metros de altura e é destinado à habitação multifamiliar, se faz necessário realizar a verificação com relação ao incêndio, onde a estrutura é considerada segura contra incêndios quando $TRF \geq TRRF$.

Modelo estrutural

O pré-dimensionamento da estrutura seguiu as normas NBR 6118 (ABNT, 2014), NBR 15200 (ABNT, 2012) e as considerações de Poletto (2022). Vale ressaltar que foi adotada a versão de 2014 da NBR 6118, uma vez que, até o momento da realização deste estudo, o software ainda não havia atualizado seus parâmetros para a versão da norma de 2023. Assim, realizou-se o lançamento e a modelagem da estrutura do edifício no software TQS, que pode ser observada em 3D na figura 1.

O edifício foi projetado para resistências características à compressão do concreto (f_{ck}) de 30 MPa e 50 MPa, com o objetivo de comparar o comportamento estrutural em situação de incêndio. O dimensionamento foi realizado considerando a menor resistência (30 MPa), uma vez que a maior resistência suportará os mesmos esforços. Além disso, mantiveram-se as mesmas dimensões e elementos estruturais para evitar a influência de outros parâmetros e variáveis no estudo.

Com a estrutura lançada fez-se o processamento e verificação global do edifício no TQS, realizando as alterações e mudanças de seções para que ficasse otimizada, sendo necessárias modificações no projeto utilizado como base. A figura 2 apresenta a planta baixa final do pavimento tipo do edifício, retirada do software TQS.

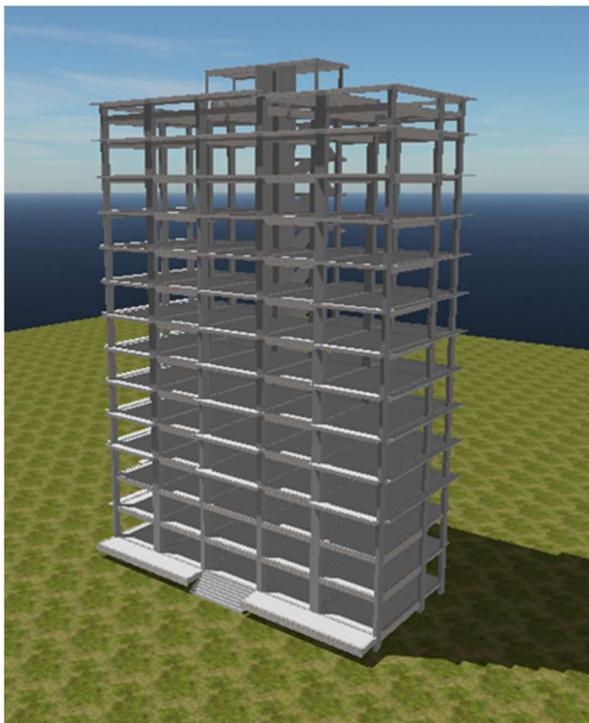
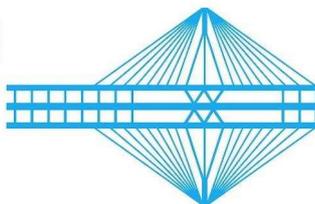


Figura 1 – Modelo 3D do edifício fornecido pelo software TQS.

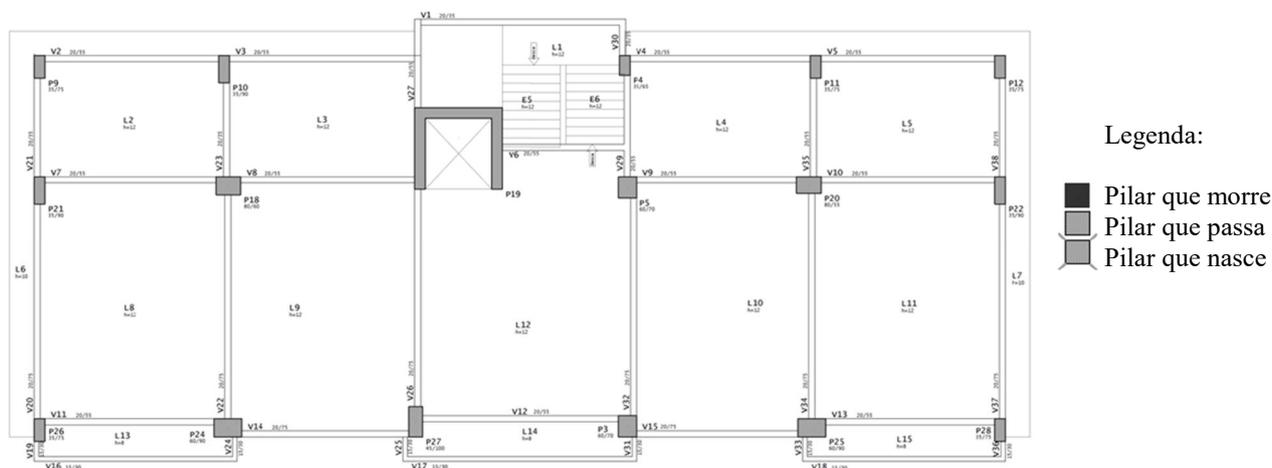


Figura 2 – Planta de fôrma do Pavimento Tipo (sem escala).

No Estado Limite Último (ELU) foi analisado o deslocamento horizontal da estrutura com base nos parâmetros γ_z e FAVt, que, ao considerar o edifício com fck de 30 MPa, apresentam os valores $\gamma_z=1,058$ e FAVt=1,06. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) quando o parâmetro γ_z é inferior a 1,1, a estrutura é classificada como sendo de nós fixos, já quando esse valor fica entre 1,1 e 1,3 a estrutura é considerada como de nós móveis, e caso o valor ultrapasse 1,3, indica uma influência significativa do vento no estudo da edificação. Com base nas informações apresentadas, os valores obtidos para o γ_z ficaram abaixo de 1,1, classificando a estrutura como de nós fixos.

Em relação ao deslocamento horizontal absoluto (DeslH), o valor máximo registrado no edifício de 30 MPa ocorreu para os ventos à 90° e 270°, com valor de 1,50 cm, sendo o limite de 2,96 cm. Quanto

ao deslocamento horizontal entre pisos (DeslHp) o valor máximo também foi para os ventos à 90° e 270°, com valor de 0,15 cm, sendo o limite de 5,93 cm, ficando longe dos limites máximos estabelecidos por norma. A figura 3 apresenta esses valores descritos por meio do gráfico polar, obtido nos relatórios do TQS. Assim, os deslocamentos horizontais apontam que os efeitos de 2ª ordem não são significativos nesse edifício, como era de se esperar uma vez que foi classificada como de nós fixos.



Figura 3 - Deslocamentos horizontais absoluto (DeslH) e entre pisos (DeslHp) em cm, 30 MPa.

Quanto à ação do vento, o coeficiente de arrasto inicial serviu de pressuposto para o programa calcular o coeficiente de arrasto para o vento incidindo em cada uma das fachadas da edificação, resultando em 1,34 para os ângulos de 90° e 270°, e 0,94 para 0° e 180°.

Em suma, a análise da estrutura se deu na planta do pavimento tipo, tendo em vista que grande parte do edifício é similar a este. Os relatórios gerados pelo software indicam que a força normal adimensional dos pilares é inferior a um, ficando dentro do limite estipulado, assegurando a integridade da estrutura, onde os esforços resultantes de cálculo são menores que os resistentes. Além disso, a grande maioria dos pilares apresentaram valores satisfatórios quanto à taxa de aço. Na análise do relatório das vigas, para o pavimento da cobertura, as taxas de aço foram inferiores devido às cargas mais baixas lançadas neste nível, bem como a consideração de que este se localiza mais no topo do edifício, não sendo sobrecarregado com muitos níveis superiores.

Posteriormente às análises do edifício com o uso do fck igual a 30 MPa, realizou-se a alteração do fck para 50 MPa, considerando as mesmas características do dimensionamento anterior, processando globalmente a edificação no software TQS, ajustando-se manualmente as armaduras.

No que diz respeito a estabilidade do edifício, com o aumento da resistência característica à compressão do concreto para 50 MPa, como esperado, obtiveram-se parâmetros ainda mais otimizados, implicando em uma estrutura mais estável, com valores de $\gamma_z = 1,042$ e $FAV_t = 1,044$, também classificando a estrutura como de nós fixos.

O deslocamento horizontal absoluto (DeslH) foi de 1,10 cm e o deslocamento horizontal entre pisos (DeslHp) foi de 0,11 cm, como apresentado na figura 4, ficando com valores ainda menores do que os obtidos em 30 MPa, que já estavam em conformidade com as prescrições. Assim, observa-se uma redução de aproximadamente 27% quanto aos deslocamentos quando comparada as diferentes resistências. Para esta situação os efeitos de 2ª ordem continuam não sendo significativos no estudo.

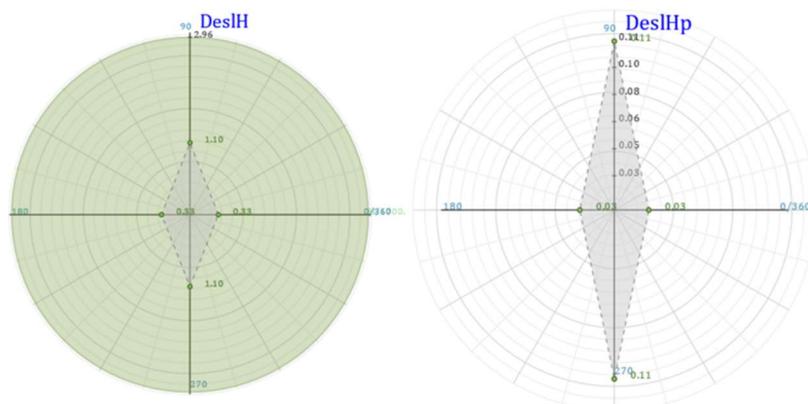


Figura 4- Deslocamentos horizontal absoluto (DeslH) e entre pisos (DeslHp) em cm, 50 MPa.

Após a análise da instabilidade global verificaram-se os relatórios de dimensionamento. Da mesma forma que para o fck de 30 MPa, a força normal adimensional é inferior a um, apresentando valores ainda menores, como de se esperar, a maior variação foi observada no pilar 18, que nasce no pavimento da garagem e morre no pavimento da piscina e jardim, com uma redução de aproximadamente 40% desse parâmetro. Além disso, a taxa de aço diminuiu à medida que se aumentou a resistência característica à compressão do concreto. Um exemplo é o pilar 2, que se localiza no pavimento da piscina e jardim, onde a taxa de aço caiu de 263,5 Kgf/m³ para 208,1 Kgf/m³, representando uma redução de 55,4 Kgf/m³, cerca de 21%. Nos demais pilares também houveram estas reduções, porém em proporções menores, resultando na economia de armaduras em suas seções. Acerca dos relatórios de dimensionamento das vigas, como imaginado, tem-se uma notória diminuição de valores de taxas de armaduras, se comparado com a edificação com menor fck. Como anteriormente, apesar de, em geral, serem menores, as taxas de aço nas vigas dos pavimentos retratam uma grande variação de valores, dependendo dos esforços considerados no local.

Verificação sob ação de incêndio

Previamente à realização da verificação de incêndio no software TQS, foi necessária definição de alguns parâmetros, como o TRRF, calculado pelo próprio software a partir de dados sobre a ocupação e descrição da edificação, e da carga de incêndio, sendo 300 MJ/m², valor obtido da NBR 14432 (ABNT, 2001).

Ademais, para o cálculo, é necessário informar a altura de incêndio do edifício, a altura do compartimento, a área de ventilação vertical, a existência de proteção e prevenção de incêndio, o risco de ativação, e, por último, a área do piso do compartimento, sempre considerando o pior caso. Com base nessas informações, o software realiza o cálculo do TRRF, determinado inicialmente pela NBR 14432 (ABNT, 2001) como 120 minutos, considerando uma redução por meio do método do tempo equivalente, conforme prescrito na NBR 15200 (ABNT, 2012), resultando em 90 minutos, tanto para o fck 30 MPa quanto para o de 50 MPa, visto que, para o cálculo deste parâmetro, não há a interferência do valor do fck, resultando em um mesmo tempo equivalente dado pelo software.

A fim de se obter um melhor resultado para a análise de incêndio definiram-se alguns critérios de projeto referentes às solicitações de cálculo, como o multiplicador das solicitações de cálculo em situação normal, sendo 70%, e a tabela utilizada para verificações de pilares, sendo a que contempla o TRF, da NBR 15200 (ABNT, 2012), e determinaram-se os revestimentos padrões e suas espessuras, sendo fatores relevantes a serem considerados na verificação da estrutura sob ação de incêndio.

A título de exemplificação do estudo, escolheu-se destacar o relatório de verificação dos pilares do pavimento reservatório submetidos ao incêndio, considerando os detalhamentos, definições de espessuras, composições de revestimentos e o cálculo do TRF, que pode ser visualizado nas figuras 5 e 6, referentes aos fck de 30 e 50 MPa, respectivamente.

Ao se analisar os relatórios percebe-se que todos os pilares do pavimento foram aprovados ao incêndio, resultando em um tempo de resistência ao fogo superior ao tempo requerido, fato que também foi constatado para vigas e lajes. E, como esperado, observa-se um aumento do TRF quando se utiliza um concreto com resistência maior. Apesar disso, alguns elementos apresentaram sua situação na cor vermelha com uma observação, indicando que algum parâmetro está fora dos limites normativos. Após análise dos pilares e dos demais pavimentos, constatou-se que a excentricidade estava fora dos limites, sendo maior que 15% da menor dimensão destes.

Título	Tipo	NSdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	c1	Situação
P3	Pilar	51873.24/782852.17 = 0.07	2	22	0.004	0.083	0.08	3.5	1.75	14	600x700	57	OK, TRF=315
P4	Pilar	35717.23/434722.90 = 0.08	2	85	0.005	0.109	0.09	3.5	1.75	10	350x650	57	TRF>TRRF*, TRF=304
P5	Pilar	72071.13/790176.39 = 0.09	2	85	0.004	0.083	0.11	3.5	1.75	14	600x700	57	OK, TRF=309
P9	Pilar	23135.48/500640.87 = 0.05	2	111	0.005	0.095	0.05	3.5	1.75	10	350x750	57	TRF>TRRF*, TRF=312
P10	Pilar	49074.77/625457.76 = 0.08	2	36	0.005	0.111	0.09	3.5	1.75	14	350x900	57	OK, TRF=305
P11	Pilar	35717.19/518875.12 = 0.07	2	25	0.005	0.095	0.08	3.5	1.75	10	350x750	57	OK, TRF=307
P12	Pilar	22576.33/503883.36 = 0.04	2	94	0.005	0.095	0.05	3.5	1.75	10	350x750	57	TRF>TRRF*, TRF=313
P18	Pilar	82069.98/926971.44 = 0.09	2	73	0.005	0.093	0.10	3.5	1.75	18	600x800	57	OK, TRF=310
P19	Parede	195635.91/5201873.78 = 0.04	2	243	0.004	0.091	0.05	3.5	1.75	96	350x2840	57	OK, TRF=0
P20	Pilar	79171.81/830764.77 = 0.10	2	91	0.004	0.091	0.11	3.5	1.75	16	550x800	57	TRF>TRRF*, TRF=309
P21	Pilar	39738.32/611953.74 = 0.06	2	92	0.006	0.126	0.07	3.5	1.75	16	350x900	57	TRF>TRRF*, TRF=308
P22	Pilar	48148.22/628509.52 = 0.08	2	77	0.008	0.158	0.09	3.5	1.75	20	350x900	57	TRF>TRRF*, TRF=305
P24	Pilar	55750.48/1078338.62 = 0.05	2	159	0.007	0.136	0.06	3.5	1.75	18	600x900	59	TRF>TRRF*, TRF=327
P25	Pilar	61356.75/1021575.93 = 0.06	2	157	0.004	0.091	0.07	3.5	1.75	12	600x900	59	TRF>TRRF*, TRF=325
P26	Pilar	28701.21/492095.95 = 0.06	2	77	0.005	0.095	0.07	3.5	1.75	10	350x750	57	TRF>TRRF*, TRF=310
P27	Pilar	57619.35/867462.16 = 0.07	2	34	0.005	0.100	0.08	3.5	1.75	18	450x1000	57	OK, TRF=315
P28	Pilar	34448.86/492868.42 = 0.07	2	62	0.005	0.095	0.08	3.5	1.75	10	350x750	57	TRF>TRRF*, TRF=307

Figura 5 - Relatório de verificação de incêndio em pilares do reservatório, 30 MPa.

Assim, o método analítico para pilares, aplicado pelo software, não é totalmente adequado neste caso, pois este é mais eficaz em pilares com excentricidade pequena, tornando a verificação de incêndio mais otimizada e econômica. Além disso, nota-se que o pilar 19 apresentou um valor de TRF igual a zero, isso se dá pelo fato de este ser um pilar parede, em que é previsto pela NBR 15200 (ABNT, 2012) o uso do método tabular.

No software, é possível verificar os pilares pelo método tabular selecionando a utilização das tabelas da NBR 15200 (ABNT, 2012), porém, buscando uma compreensão da atuação do incêndio no núcleo

rígido, especificamente no pilar 19 e nos elementos destacados em vermelho, visando esclarecer por que este método tem maior eficácia, realizaram-se os cálculos pelo método tabular, prescrito na NBR 15200 (ABNT, 2012).

Ao empregar o método tabular, percebe-se que seria viável utilizar valores mais baixos do que os realmente utilizados, que já seriam suficientes para a verificação do elemento sob ação de incêndio, sendo possível reduzir as dimensões, para otimizar o elemento, visando uma maior economia. O mesmo ocorre para os elementos destacados em vermelho, onde também é possível utilizar dimensões inferiores às adotadas, as quais já seriam suficientes para a verificação sob incêndio.

Título	Tipo	Nsdi/NRd	NFE	e	As/Ac	w	ni	le	le,fi	NB	b x h	cl	Situação
P3	Pilar	51874.64/1290664.67 = 0.04	2	22	0.004	0.050	0.05	3.5	1.75	14	600x700	57	OK, TRF=321
P4	Pilar	35723.00/697364.81 = 0.05	2	84	0.004	0.050	0.06	3.5	1.75	12	350x650	55	TRF>TRRF*, TRF=300
P5	Pilar	72075.74/1298599.24 = 0.06	2	85	0.004	0.050	0.07	3.5	1.75	14	600x700	57	OK, TRF=318
P9	Pilar	23130.11/818185.81 = 0.03	2	110	0.005	0.057	0.03	3.5	1.75	10	350x750	57	TRF>TRRF*, TRF=316
P10	Pilar	49063.51/1005935.67 = 0.05	2	36	0.005	0.066	0.06	3.5	1.75	14	350x900	57	OK, TRF=312
P11	Pilar	35716.11/836219.79 = 0.04	2	25	0.005	0.057	0.05	3.5	1.75	10	350x750	57	OK, TRF=313
P12	Pilar	22565.19/821304.32 = 0.03	2	93	0.005	0.057	0.03	3.5	1.75	10	350x750	57	TRF>TRRF*, TRF=317
P18	Pilar	82092.61/1496963.50 = 0.05	2	72	0.004	0.050	0.07	3.5	1.75	16	600x800	57	OK, TRF=318
P19	Parede	195566.96/8382110.60 = 0.02	2	243	0.004	0.054	0.03	3.5	1.75	96	350x2840	57	OK, TRF=0
P20	Pilar	79215.14/1362762.45 = 0.06	2	90	0.004	0.054	0.07	3.5	1.75	16	550x800	57	TRF>TRRF*, TRF=317
P21	Pilar	39726.40/982685.09 = 0.04	2	91	0.005	0.066	0.05	3.5	1.75	14	350x900	57	TRF>TRRF*, TRF=314
P22	Pilar	48130.02/998878.48 = 0.05	2	76	0.007	0.085	0.06	3.5	1.75	18	350x900	57	TRF>TRRF*, TRF=312
P24	Pilar	55777.15/1712665.56 = 0.03	2	158	0.006	0.073	0.04	3.5	1.75	16	600x900	59	TRF>TRRF*, TRF=331
P25	Pilar	61365.50/1673898.70 = 0.04	2	157	0.004	0.054	0.04	3.5	1.75	12	600x900	59	TRF>TRRF*, TRF=330
P26	Pilar	28683.21/810012.82 = 0.04	2	76	0.005	0.057	0.04	3.5	1.75	10	350x750	57	TRF>TRRF*, TRF=315
P27	Pilar	57604.16/1401824.95 = 0.04	2	34	0.004	0.053	0.05	3.5	1.75	16	450x1000	57	OK, TRF=321
P28	Pilar	34430.83/809783.94 = 0.04	2	61	0.005	0.057	0.05	3.5	1.75	10	350x750	57	TRF>TRRF*, TRF=313

Figura 6 - Relatório de verificação de incêndio em pilares do reservatório, 50 MPa.

A fim de entender a influência da resistência característica à compressão do concreto, desenvolveram-se alguns cálculos manualmente, baseando-se nas mesmas formulações que o sistema do TQS utiliza para cálculo do TRF e através das tabelas da NBR 15200 (ABNT, 2012).

Assim, optou-se por utilizar o método analítico para pilares para o desenvolvimento dos cálculos do TRF do pilar 9 do pavimento tipo como exemplo. No relatório do TQS tem-se as informações apresentadas na figura 7.

Substituindo os referidos valores nas equações da NBR 15200 (ABNT, 2012), chegou-se a um valor de TRF igual à, aproximadamente, 266 min para o edifício de 30 MPa e de 287 min para o de 50 MPa. O valor apontado pelo TQS, para o mesmo pilar, foi respectivamente de 267 min e 288 min indicando, assim, coerência com as formulações apontadas pela norma.

Para um mesmo pilar, com a alteração da resistência característica à compressão do concreto de 30 MPa para 50 MPa, observa-se uma diferença considerável no valor da força normal resistente do pilar (parâmetro NRd). Com isso, basicamente, as formulações alteram os valores, incidindo em um valor de TRF superior quando há o aumento da resistência.

Tipo	Pilar comum	Tipo	Pilar comum
NFE	---	NFE	---
NSdi	126801.56	NSdi	126794.61
NRd	502166.75	NRd	819549.56
NSdi/NRd	0,25	NSdi/NRd	0,15
b	350	b	350
c1	57	c1	57
e	19	e	19
As/Ac	,005	As/Ac	,005
w	---	w	---
ni	---	ni	---
le	3500	le	3500
N. barras	10	N. barras	10

a)

b)

Figura 7 - Informações do TQS para o pilar P9 do pavimento tipo: a) 30 MPa; b) 50 MPa.

Pode-se dizer que o parâmetro fck não está diretamente nas formulações do tempo de resistência ao fogo, porém, tem influência na questão do suporte de carga do elemento, implicando em uma alteração do TRF.

Além disso, o NRd, que é a força normal resistente do pilar, considera os efeitos da não linearidade geométrica e, como pode ser observado, ao alterar o fck o valor de γ_z e FAVt são ainda menores, implicando em uma estrutura mais estável.

Conclusões

O dimensionamento estrutural do edifício em concreto armado no software TQS foi realizado conforme as diretrizes estabelecidas pela NBR 6118 (ABNT, 2014) em conjunto com a norma específica para dimensionamento em situações de incêndio, a NBR 15200 (ABNT, 2012), e baseando-se nos conceitos de estruturas em concreto armado e incêndio.

A aplicação desses conhecimentos foi evidenciada por meio do projeto estrutural de um edifício de 14 pavimentos em concreto armado, considerando duas diferentes resistências características à compressão do concreto, 30 MPa e 50 MPa. Assim, analisou-se o comportamento estrutural, utilizando dados fornecidos pelo software TQS e verificou-se o cumprimento dos estados-limites último (ELU) e dos estados-limites de serviço (ELS).

Posteriormente a todas as verificações e a comprovação da estabilidade global do edifício, realizou-se a simulação de incêndio por meio do software TQS. Essa etapa possibilitou relacionar métodos de cálculo, análises e discussões de resultados, enfatizando a verificação dos elementos estruturais quando expostos à ação do incêndio, considerando as duas resistências características à compressão do concreto.

As análises estruturais do edifício, bem como o seu estudo em situação de incêndio, apresentam complexidade teórica, contemplando diversos assuntos como o incêndio em si, a segurança das edificações, o comportamento dos materiais componentes do concreto armado quando expostos à altas temperaturas, além dos métodos de dimensionamento, seus esforços e ações, sendo influenciados por diversos parâmetros. Na prática, com o auxílio da utilização do software TQS, pôde-se simplificar o processo, compreendendo a forma de verificação de incêndio considerada pelo software, agilizando a obtenção dos resultados e analisando o edifício com maior facilidade.

Do ponto de vista estrutural, quando considerada a situação normal de temperatura, o aumento da resistência característica à compressão do concreto implicou em um edifício com maior estabilidade

global e resistente a maiores cargas. A alteração da resistência dos elementos também se mostrou eficaz quando verificada a estrutura sob ação de incêndio, incidindo em um valor superior de tempo de resistência ao fogo (TRF) quando a resistência característica à compressão do concreto é acrescida. Em contrapartida, nos termos arquitetônicos, ressalta-se que o dimensionamento em situação de incêndio impacta diretamente no espaço original projetado, pois, para respeitar os limites e critérios da NBR 15200 (ABNT, 2012), os elementos sofrem alterações de dimensões. Assim, é importante que os profissionais trabalhem em conjunto, levando em conta as alterações que as normatizações de incêndio podem causar em determinadas edificações.

Referências

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.
- _____. NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.
- _____. NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.
- BIBLIOCAD. Projeto Arquitetônico. Arquivo DWG, 2023.
- BOLINA, Fabricio Longhi et al. Analysis of the assessment methods of reinforced concrete beams in fire conditions proposed by NBR 15200. Revista IBRACON DE ESTRUTURAS E MATERIAIS, v. 40, n. 6, p. 1308 - 1325, nov./2018.
- COSTA, Carla Neves. Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- CSCIP- Código de Segurança contra incêndio e pânico. Curitiba. 2021.
- POLETO, Deiwi Mateu. Estruturas de concreto armado sob ação de incêndio: Aplicação da NBR 15200 (ABNT, 2012) no dimensionamento estrutural de um edifício de 17 pavimentos utilizando o software CAD/TQS. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco. 2022.
- RIBEIRO, Lucas Gabriel Araujo. Estudo das recomendações de projeto de estruturas de concreto armado em situação de incêndio conforme a NBR 15200:2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2019.
- SILVA, Valdir Pignatta. Projeto de Estruturas de Concreto em Situações de Incêndio: Conforme ABNT NBR 15200:2012. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2012.
- TQS Docs. Incêndio. Concreto Armado. 2023.