



ANÁLISE DO SISTEMA ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO SEDE DA PROCURADORIA GERAL DA REPÚBLICA: ESTUDO DE CASO DO BLOCO “B”

Stefano Galimi

stefanogalimi.arch@gmail.com

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília

Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900, Brasília, Distrito Federal, Brasil

Márcio Augusto Roma Buzar

marcio.buzar@gmail.com

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília

Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900, Brasília, Distrito Federal, Brasil

Marco Aurélio Bessa

bessamarco@yahoo.com.br

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília

Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900, Brasília, Distrito Federal, Brasil

Marcos Henrique Ritter de Gregorio

marcosritter@globo.com

Curso de Engenharia Civil – FATECS – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – UniCEUB – Centro Universitário de Brasília. SEPN 707/907 Campus Asa Norte, Bloco 7, Brasília/DF. CEP 70790-075. www.uniceub.br

Abstract. *The work of Oscar Niemeyer, known as the Attorney General's Office of the Brazilian Republic, is composed by a set of 6 buildings. The Block "B", which houses the prosecutors' cabinets, has a predominant construction system of high performance reinforced concrete and a conventional structural system, supported by two pillars rings plus the rigid central core. The building was erected in a conventional way, starting from the pillars at the subsoil level, to finish on the last floor with a constant section. Throughout the construction phase, the concreting of the slabs and the horizontal elements of beams was executed for each floor and was made possible through the supports of the pillars. Through the computer program SAP2000, it was verified that the efforts and displacements of the entire building are within the limits of the Brazilian standard ABNT NBR 6118. Data and graphs were*

CILAMCE 2017

Proceedings of the XXXVIII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering
P.O. Faria, R.H. Lopez, L.F.F. Miguel, W.J.S. Gomes, M. Noronha (Editores), ABMEC, Florianópolis, SC,
Brazil, November 5-8, 2017.

elaborated regarding the normal stresses, displacement and bending moment in the beams of the structure.

Palavras-chave: *Estrutura de concreto, Análise computacional, Arquitetura do Oscar Niemeyer, Procuradoria Geral da República, Bloco B.*

1. INTRODUÇÃO

A arquitetura de Niemeyer, que se destaca dos padrões convencionais pela plasticidade e sinuosidade das suas curvas, é considerada uma verdadeira simbiose entre a estrutura resistente e as formas (MÜLLER, 2003).

A abordagem dada às estruturas, com ênfase em inovação em cada projeto, é um fator emblemático de toda a sua carreira. Como explica Müller (2003), Oscar Niemeyer estava à procura constante de concisão e pureza para estabelecer um “real comprometimento entre forma e estrutura”.

Em seus trabalhos, é possível encontrar a simbiose entre as noções de estática e razões de origem simbólica e pela vontade de proporcionar profundidade e variedade de apreciação ao observador. Essa sua maneira de projetar o “plasticismo simbólico” recebeu várias críticas movidas por parte de profissionais arquitetos e engenheiros, interessados somente na forma estrutural e no valor arquitetônico das suas obras.

O objeto de estudo deste artigo é o edifício sede da Procuradoria Geral da República (PGR), um dos símbolos principais do poder jurídico no Brasil. Os projetos, desenvolvidos por Oscar Niemeyer (Arquitetura) e José Carlos Sússekind (Estrutura) foram concluídos em 1996 e a obra foi concluída em 2002 (UCHIGASAKI, 2006).

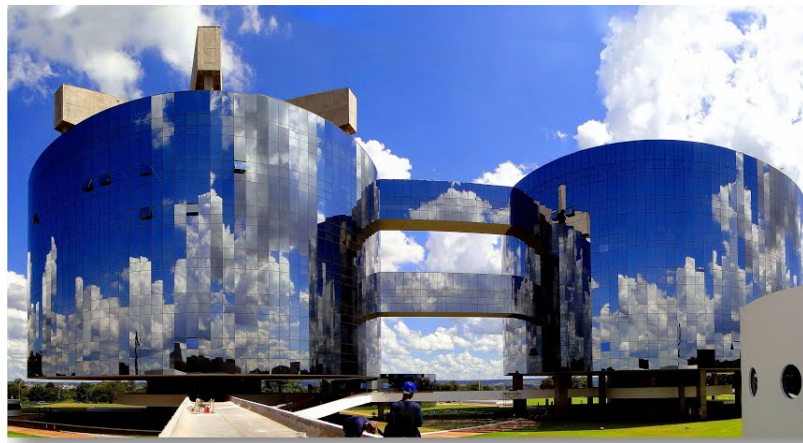


Figura 1. Procuradoria Geral da República, Brasília, DF; Fonte: Daniel Zukko

O escopo desta obra, que foi fruto de uma mente inovadora seja do ponto de vista arquitetônico que da inovação tecnológica, quer demonstrar a possibilidade de conceber duas

edificações de igual forma e volumetria através de duas soluções estruturais diferentes, exaltando o valor simbólico.

“...Os monumentos públicos propiciam uma teatralização social de valores, uma que, consagram as imagens da memória coletiva para além da temporalidade da vida cotidiana” (FREIRE, 2007).

1.1 Justificativa

A produção artística e arquitetônica do Oscar Niemeyer na capital federal do Brasil, descrita e analisada por várias figuras em nível tanto nacional quanto internacional, ainda não tem muitos estudos sobre as soluções tecnológicas adotadas pelo arquiteto brasileiro (FONSECA, 2007).

Esse aspecto que condiciona esse tipo de “discriminação” sobre o histórico da engenharia estrutural das obras de Brasília, produzida por Niemeyer, é encarado por Vasconcelos (1992) no seu livro que valoriza e ressalta a importância que deveria ter em um patamar internacional.

Outro fator preocupante é escassez de informações acerca deste tema em diversos edifícios do patrimônio histórico moderno de Brasília, sendo bastante difícil localizar documentação oficial de cálculos estruturais, análises e detalhes.

Além disso, a obra do arquiteto se caracteriza por utilizar formas elementares, de matriz estrutural simples, tais como cúpulas, abóbadas, cascas, grandes vãos equilibrados por grandes balanços de modo que o papel do observador é simplificado, não importa a matriz cultural pela qual ele provém.

Portanto, a abordagem pedagógica das obras de Oscar Niemeyer é bastante interessante, especialmente no estudo de sistemas estruturais em faculdades de arquitetura.



Figura 2. Complexo da Procuradoria Geral da República, Brasília, DF; Fonte: Rubens Craveiro

Especificamente esta obra tem destaque em diversas esferas, tais como sua expressividade simbólica, inovação tecnológica, inserção em seu contexto de entorno de modo a ser de altíssima relevância para a arquitetura nacional.

Se a obra possui as qualidades necessárias para ser eternizada, se faz parte de uma corrente cultural moderna e se continua se erguendo através de um desempenho estrutural satisfatório, o nosso interesse deve se estender para todo o panorama da arte moderna brasileira e internacional como reminiscência secular na história da arquitetura (GALIMI, 2016).

A categoria dos profissionais da área de engenharia civil, incluindo profissionais (engenheiros e arquitetos), mestres de obras e funcionários especializados, está cada vez mais focado na busca de novas tecnologias e métodos construtivos para realizar obras que sejam compatíveis com as exigências do mercado moderno. Para garantir um nível de excelência nas edificações residenciais e não, é necessário estabelecer um rigor ético e profissional em todas as fases de vida do projeto, desde a concepção arquitetônica / estrutural.

2. O BLOCO B

O bloco B, diferentemente do bloco A, possui uma estrutura convencional, utilizando pilares. Ao invés de tirantes, o sistema estrutural vertical consta de dois anéis de oito pilares cada, um interno e um externo, dispostos ao longo da planta circular da edificação. Esse prédio, consta da mesma volumetria do bloco A possuindo um diâmetro de aproximadamente 60 metros, oito andares e altura de 48,3 metros. Nas figuras 3 e 4 mostram-se as plantas do térreo e do andar tipo, respectivamente.

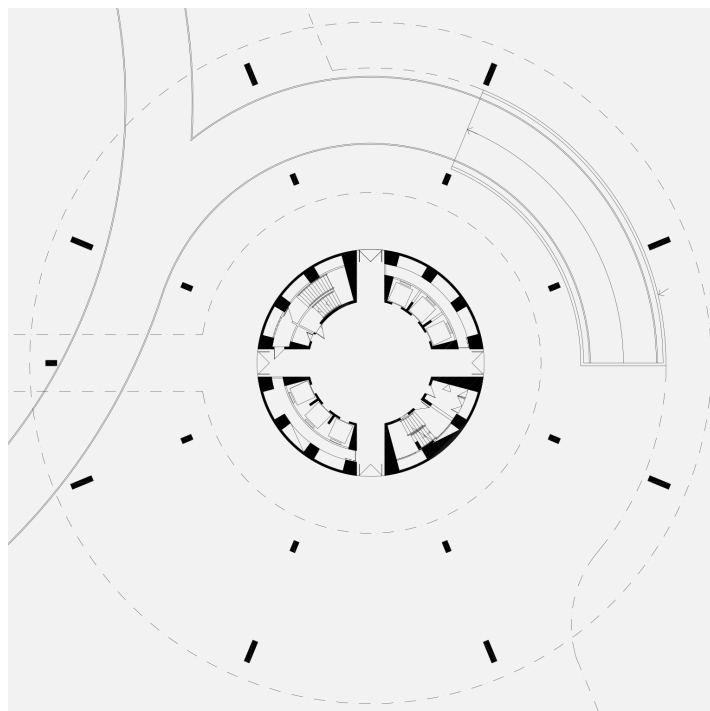


Figura 3. Planta do térreo, bloco B; Fonte: Arquivo da PGR

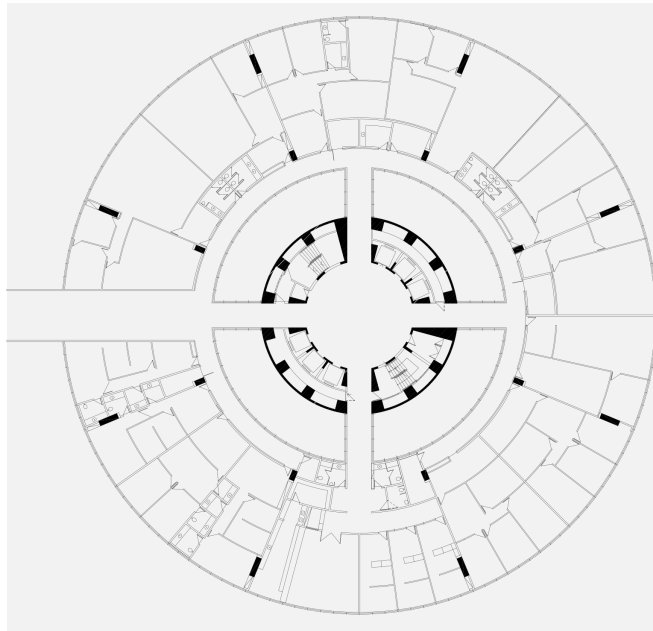


Figura 4. Planta do pavimento tipo, bloco B; Fonte: Arquivo da PGR

O bloco B possui um sistema construtivo predominante de concreto armado de alto desempenho (CAD) e um sistema estrutural convencional, sustentado por dois anéis de pilares mais o núcleo central rígido.

A edificação foi erguida de forma convencional, começando dos pilares no nível do subsolo, para terminar no ultimo pavimento com seção constante. Portanto, ao longo da fase da construção, conforme as figuras 5 e 6, a concretagem das lajes e dos elementos horizontais de vigas foi executada para cada andar e foi viabilizada através dos apoios dos pilares.



Figura 5. Edificação em fase de construção , bloco B; Fonte: Arquivo da PGR



Figura 6. Pilares principais externos e internos, bloco B; Fonte: Arquivo da PGR

A malha de pilares que sustenta a edificação consta de dois anéis de pilares (figura 6), um interno, formado por oito unidades de 200x50 centímetros, e um externo (oito pilares) composto por pilares de 100x50 centímetros.

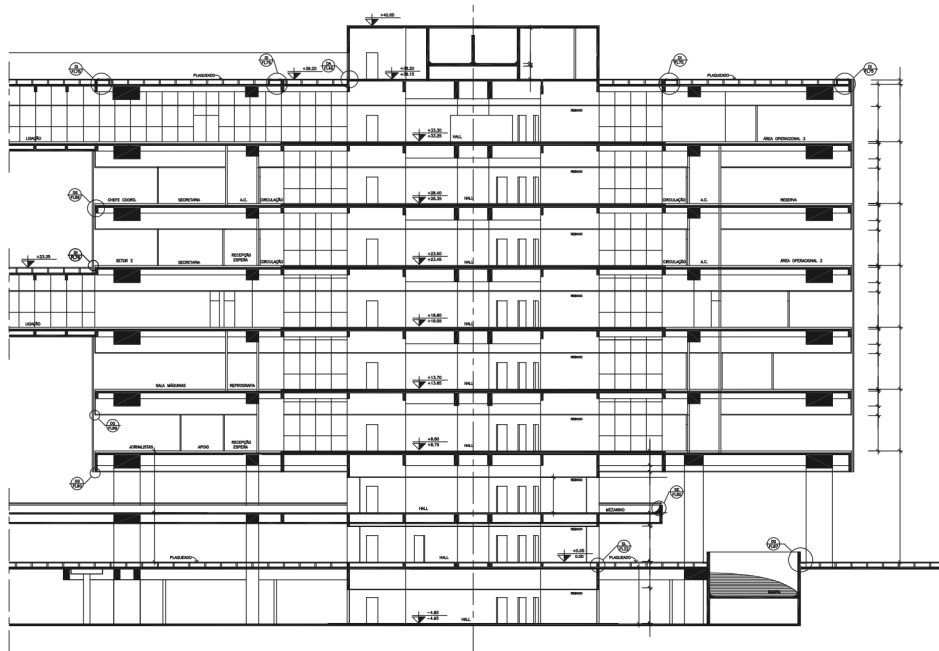


Figura 7. Corte CC, bloco B; Fonte: Arquivo da PGR

O concreto utilizado para todos os elementos estruturais tem as seguintes Resistências Características:

Vigas, $f_{ck} \geq 50$ MPa;

Lajes, $f_{ck} \geq 35$ MPa;

Paredes, $f_{ck} \geq 35$ MPa;

Caixas d'água, $f_{ck} \geq 35$ MPa;

3. ANÁLISE DO SISTEMA ESTRUTURAL DO BLOCO B

Para executar a análise estrutural qualitativa do bloco B da Procuradoria Geral da República, foram utilizados os arquivos de plantas, cortes e detalhes estruturais para obter as dimensões de todos os elementos participantes do sistema estrutural, fornecidos pelo Departamento de Engenharia da PGR. Portanto, a partir das plantas estruturais foram extraídas as medidas referentes às seções de tirantes, pilares, vigas, paredes e lajes.

Tabela 1. Dimensões dos elementos estruturais do bloco A para análise estrutural

Elemento Estrutural – Pavimento tipo	A (m)	B (m)	Cor
1. Pilares externos	2,00	0,50	Blue
2. Pilares internos	1,00	0,50	Pink
3. Viga circular anel ext., seção variável 1,20~1,60	0,25/0,25	1,20/1,60	Light Blue
4. Viga circular anel externo	0,25	1,20	Green
5. Viga radial externa	0,50	1,45	Light Blue
6. Viga radial externa	0,25	1,45	Light Blue
7. Viga circular anel interno	0,25	1,20	Yellow
8. Viga radial	0,40	0,60	Blue

9. Viga radial	0,25	0,60	
10. Viga circular interna	0,25	1,00	
11. Viga radial interna	0,40	0,60	
12. Viga radial interna	0,20	0,60	
13. Viga circular anel interno	0,20	0,70	
14. Viga passarela	0,25	6,00	

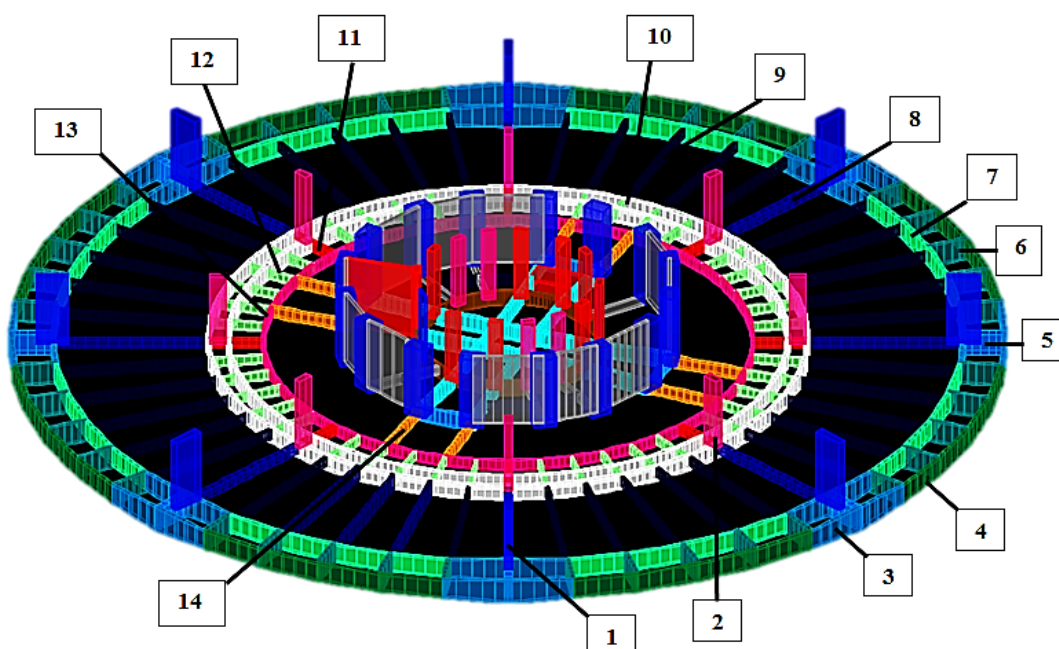


Figura 8. Perspectiva do pavimento tipo, bloco B; Fonte: os autores

Tabela 2. Dimensões dos elementos estruturais do bloco A para análise estrutural

Elemento Estrutural – Núcleo Rígido	A (m)	B (m)	Cor
15. Viga radial	0,20	0,60	

16. Viga circular externa	0,20	0,60	
17. Viga circular interna	0,15	1,00	
18. Viga circular externa	1,85	1,00	
19. Viga circular abertura	0,20	1,00	
20. Viga principal	0,30	1,00	
21. Pilar principal	1,40	1,00	
22. Pilar em L	0,80	0,45	
23. Pilar interno, formato retangular	1,10	0,15	
24. Pilar em T	0,80	0,40	
25. Parede núcleo rígido externa	4,85	0,20	
26. Parede núcleo rígido interna	4,85	0,20	

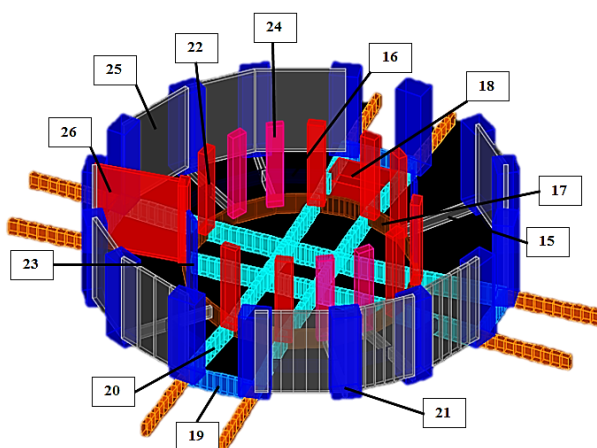


Figura 9. Perspectiva do núcleo rígido, bloco B; Fonte: os autores

Tabela 3. Dimensões dos elementos estruturais do bloco A para análise estrutural

Elemento Estrutural – Mezanino	A (m)	B (m)	Cor
27. Viga perimetral anel externo	0,20	1,00	
28. Viga radial variável 30~70	0,30~0,70	1,00	
29. Viga perimetral externa	0,20	1,00	
30. Viga perimetral interna	0,20	0,60	
31. Viga perimetral anel interno	0,15	1,00	
32. Viga central	0,30	1,00	
33. Pilar principal	1,40	1,00	
34. Pilar em L	0,80	0,45	
35. Pilar interno, formato retangular	1,10	0,15	
36. Pilar em T	0,80	0,40	
37. Parede externa	4,70	0,20	
38. Parede interna	4,70	0,20	

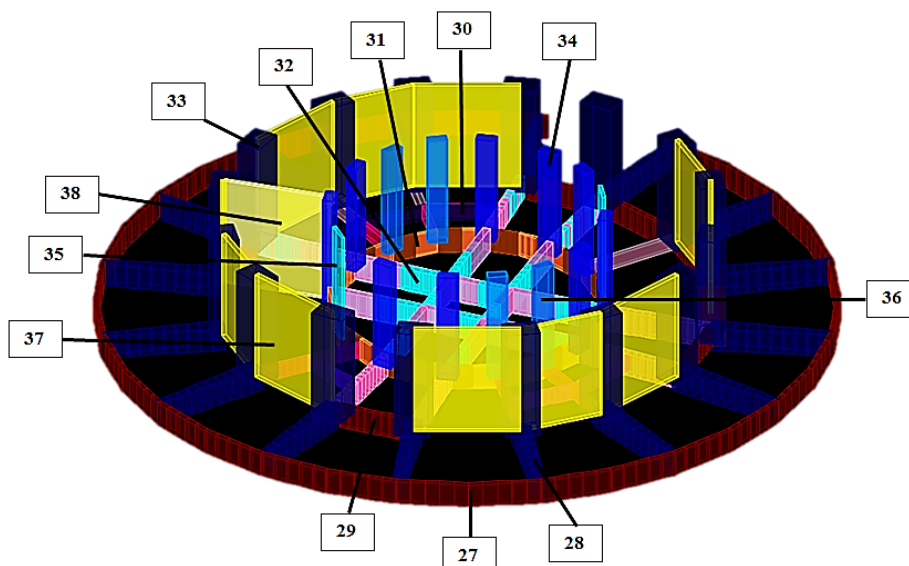


Figura 10. Perspectiva do mezanino, bloco B; Fonte: os autores

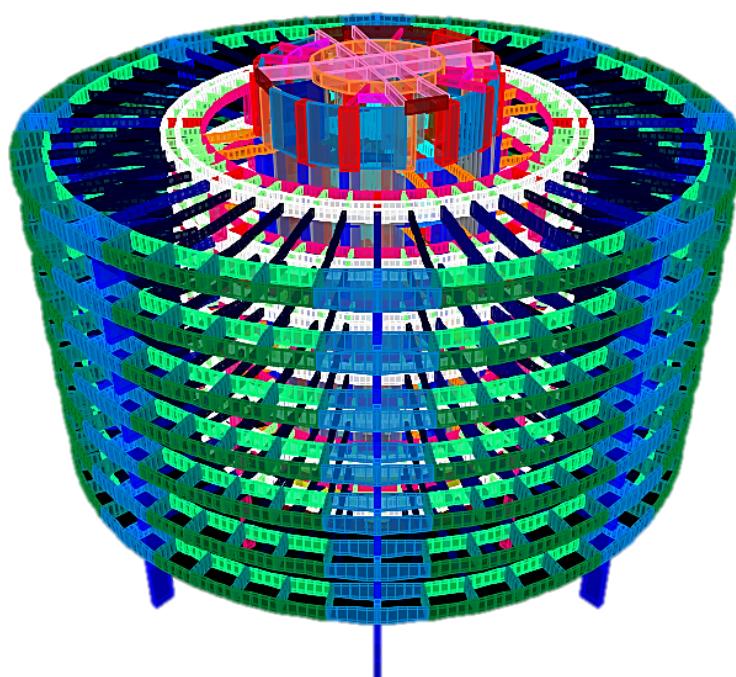


Figura 11. Modelo tridimensional do bloco A; Fonte: os autores

Na análise do bloco B, verificou-se os esforços e deslocamentos de toda a edificação. Foram elaborados gráficos relativos aos esforços normais, deslocamento e momento fletor nas vigas da estrutura.

Na figura 12 mostra-se os esforços normais da edificação do bloco B, que são acumulativos até as fundações. Para os pilares das extremidades, os esforços normais atingem o valor de 2247 tf, os quais são semelhantes aos valores dos esforços normais desenvolvidos nos tirantes do bloco A.

Na primeira combinação (1,4G+1,4Q) mostra-se um esforço de 2247 tf, representando praticamente o dobro do esforço submetido apenas com o peso próprio da estrutura. Os pilares externos tem uma área de contribuição de laje maior comparado aos pilares internos, que sofrem um esforço normal de 1734 tf. A principal diferença observada com o modelo do bloco A, está no fato que os esforços terão que subir através dos tirantes de aço protendidos para em seguida descer pelo núcleo rígido central.

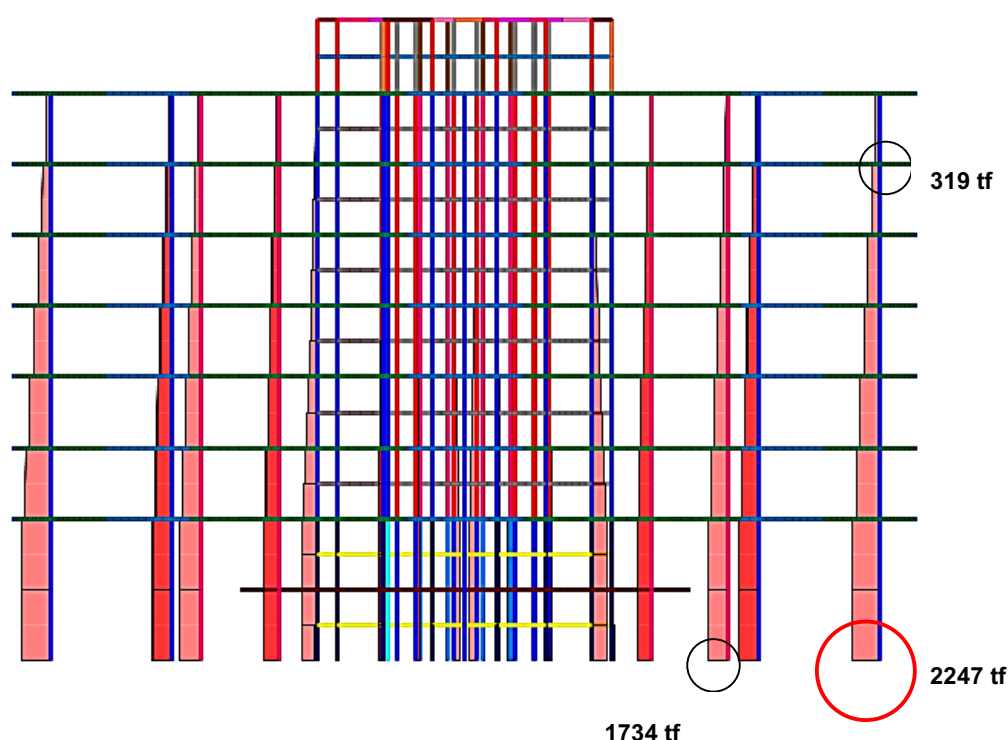


Figura 12. Diagrama de Forças normais na combinação 1 (1,4G+1,4Q). Fonte: SAP2000

Após ter colocado a carga de vento, conforme a combinação 2, nota-se que, a pressão exercida pelo vento alivia os pilares mais próximos à direção de impacto na fachada, aumentando os esforços de compressão nos pilares da fachada oposta.

Porém, considerado o peso próprio da estrutura e das sobrecargas, a influência do vento é relativamente pequena, como demonstram os gráficos da figura 13.

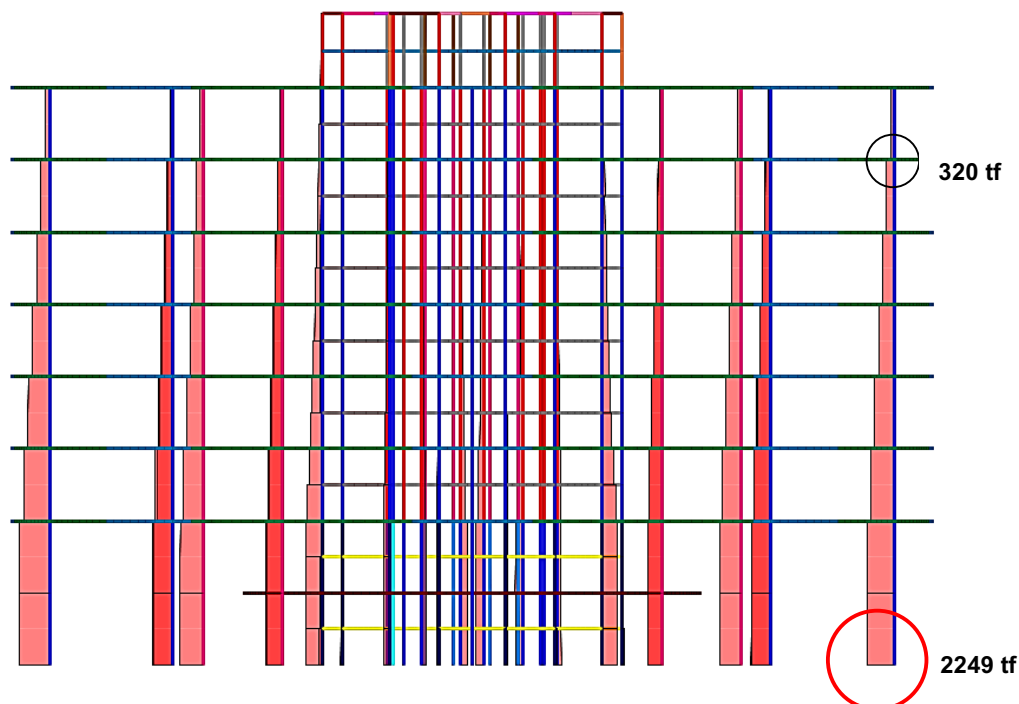


Figura 13. Diagrama de Forças Normais na combinação 2. Fonte: SAP2000

No modelo convencional do bloco B, os deslocamentos desenvolvidos nas lajes e pilares são de 4,12 cm, o que está dentro dos limites admissíveis da norma ABNT NBR 6118, como se apresenta nas figuras 14 e 15.

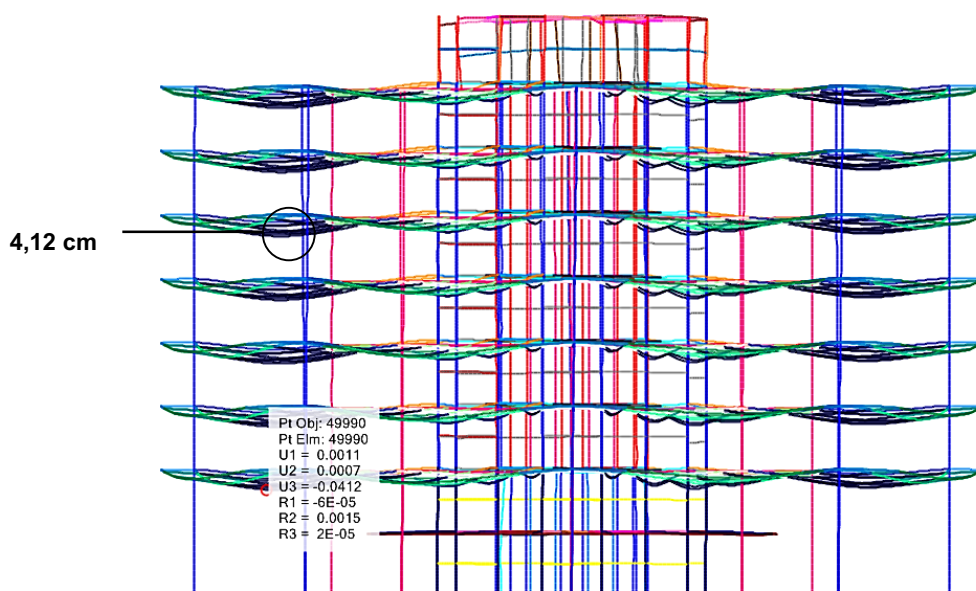


Figura 14. Diagrama de deslocamento elástico da estrutura, Combinação 4. Fonte: SAP2000

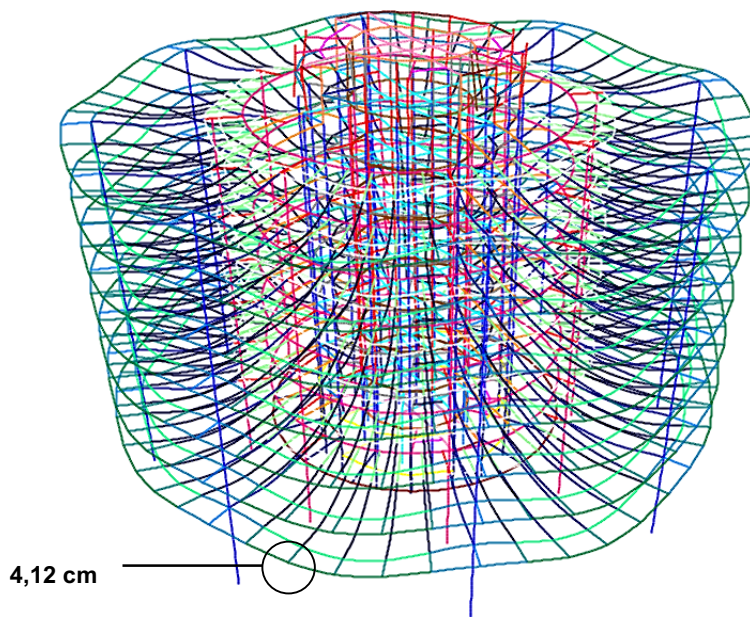


Figura 15. Perspectiva de deslocamento elástico de estrutura, Combinação 4. Fonte: SAP2000

Para completar essa análise qualitativa dos esforços normais e dos deslocamentos, decidiu-se tirar os oito pilares externos da edificação convencional B, para que o modelo fique mais parecido com o do bloco A, atirantado.

Percebe-se que os deslocamentos atuantes aumentam de forma que as lajes perdem toda a rigidez devido ao fato que as seções das peças estruturais são pequenas para resistir aos esforços submetidos após a retirada dos pilares externos. Esse modelo experimental, mostrado em seguida no diagrama das figuras 16 e 17, foi utilizado para compreender como esses deslocamentos precisam ser combatidos, através de eventuais pilares de tração, chamados de tirantes.

Portanto, haverá um deslocamento máximo na laje de 95 centímetros que, se não for combatido por uma força oposta, levará a edificação numa situação de colapso estrutural.

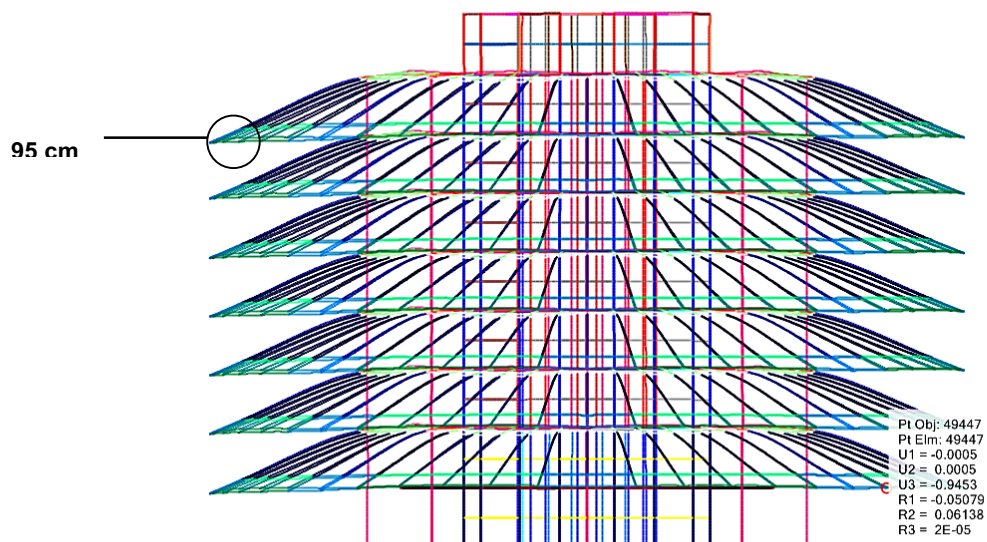


Figura 16. Diagrama de Deslocamento Elástico com retirada do anel dos pilares externos, Combinação 4 (1,0G+1,0Q+1,0V), bloco B, PGR. Fonte: Programa SAP 2000, desenho dos autores

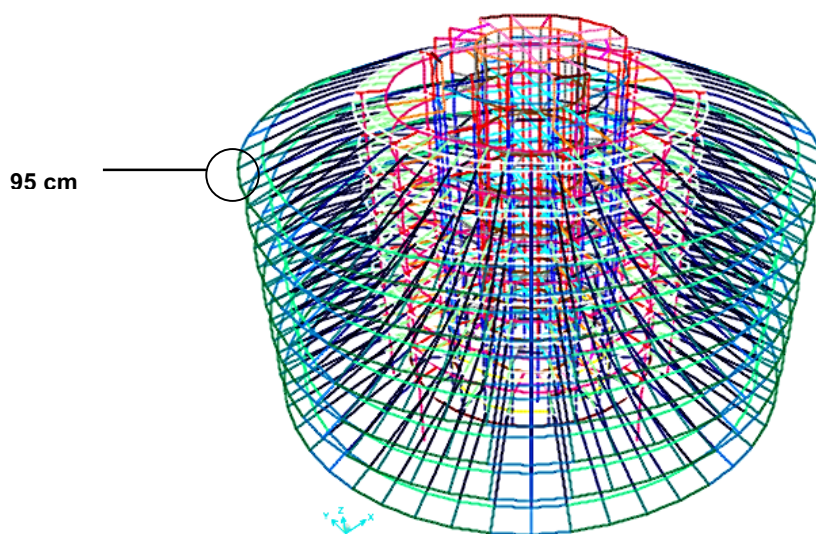


Figura 17. Perspectiva de deslocamento elástico de estrutura, Combinação 4. Fonte: SAP2000

Mostra-se no modelo convencional, como nas figuras 18 e 19 o momento fletor nas vigas estruturais do prédio B. Os momentos principalmente próximos aos apoios e na conexão de viga – pilar, resultando com um valor de -117 tf para o encontro viga – pilar externo e com um valor de -390 tf acontecendo na ligação viga – pilar interno.

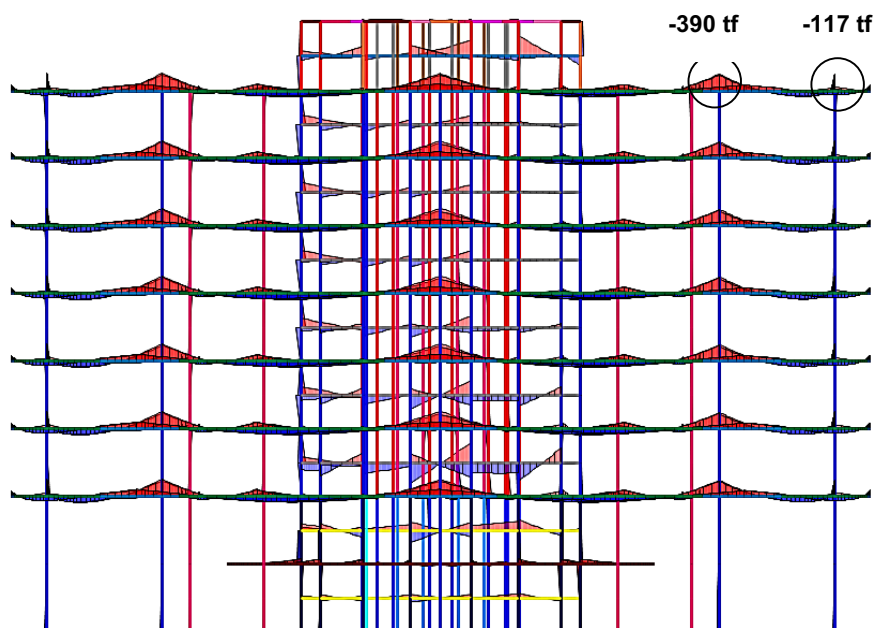


Figura 18. Digrama do Momento fletor das vigas. Fonte: SAP2000, desenho dos autores

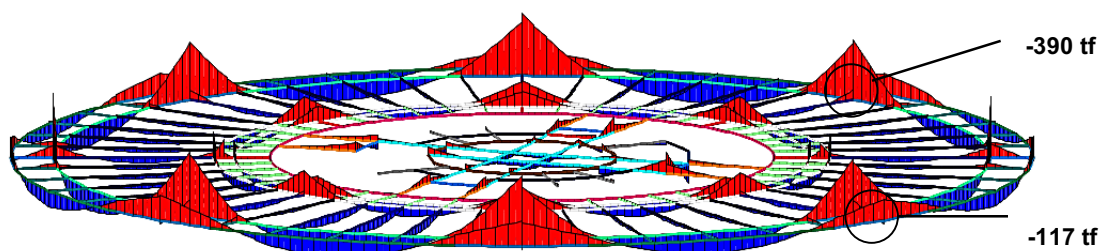


Figura 19. Digrama do Momento fletor das vigas Fonte: SAP2000, desenho dos autores

4. CONCLUSÕES

A arquitetura de Niemeyer é efusivamente marcada pela sua estrutura. Contudo, apesar de existir vasta bibliografia sobre sua arquitetura, pouco existe sobre a estrutura. Portanto, existe a necessidade de melhorar o registro histórico no que tange aos detalhes estruturais, memórias de cálculo e documentos informativos. Este trabalho preenche esta lacuna referente ao bloco B do edifício sede da Procuradoria Geral da República.

O bloco B, apesar de suas proporções monumentais e arquitetura expressiva, utiliza um sistema estrutural convencional de vigas x pilares. Seu apreço estrutural fica mais evidenciado quando comparado ao bloco A, que utiliza estrutura atirantada.

A utilização do concreto de alto desempenho (CAD) permitiu a utilização de peças estruturais de proporções menores.

As tensões encontradas não justificaram a aplicação de protensão. Por esta razão, a estrutura utiliza concreto armado convencional (estrutura passiva).

As deformações das peças estruturais estão dentro dos limites da norma.

O engenheiro José Carlos Sussekind tem contribuído de forma notória para interessantes avanços no estudo de estruturas, em especial naquelas desenvolvidas em parceria com o arquiteto Oscar Niemeyer.

AGRADECIMENTOS

Os autores desse trabalho agradecem a comunidade científica do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (PPG FAU) sem a qual, não teria sido possível alcançar essa prestigiosa etapa de publicação em um reconhecido congresso/evento internacional. Um importante agradecimento é direcionado também para o órgão da FAP/DF, pelo apoio financeiro que proporcionou a satisfação de divulgar o nosso trabalho no Brasil. Também agradecemos ao apoio financeiro propiciado pelo UniCEUB – Centro Universitário de Brasília.

BIBLIOGRAFIA

Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). *NBR 15575 – Partes 1-6: Desempenho de Edifícios Habitacionais*. Rio de Janeiro, 2013.

Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). *NBR 6327 – Cabos de aço para uso geral – Requisitos mínimos*. Rio de Janeiro, 2004.

Faria, Francisco. *Oscar Niemeyer: O Espetáculo Arquitetural: Caderno dos Instrutores*. MON – O Olhar do Aprendiz. Curitiba – PR. Museu Oscar Niemeyer, 2007.

Fonseca, Régis Pamponet da. *A Estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos Históricos, Científicos e Tecnológicos de Projeto, Execução, Intervenções e Proposta de Estratégias para Manutenção*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2007.

Freire, Cristina. *Além dos Mapas: Os Monumentos no Imaginário Urbano Contemporâneo*, São Paulo, Annablume, 1997

Galimi, S., Camanho C. *Methodology of identification and inspection of pathologies in residential multi-story buildings: a case study*. XII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas, Porto, 2016.

Gonçalves, Simone Neiva Loures. *Museus projetados por Oscar Niemeyer de 1951 a 2006: o programa como coadjuvante*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2010.

Ohtake, Ricardo. *Oscar Niemeyer*. Folha Explica. Publifolha, 2007.

Santos, J. A. *Fundações por estacas. Ações Verticais. Elementos teóricos*. Obras Geotécnicas, Instituto Superior Técnico, 2008.

Vasconcelos, Augusto Carlos de. *O Concreto no Brasil – Recordes, Realizações, História, Volume I*. Editora Pini, 2ª edição, 1992.