

# A Estrutura da Igrejinha da Pampulha de Oscar Niemeyer

PEREIRA, Nathalia Coelho<sup>1</sup>

BUZAR, Márcio<sup>2</sup>

BEZZERRA, Luciano<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade de Brasília, Brasil. ncoelhoperreira@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade de Brasília, Brasil. buzard@unb.br

<sup>3</sup>Universidade de Brasília, Brasil. lmbz@unb.br

## Resumo

Apesar da obra do arquiteto Oscar Niemeyer ter grande reconhecimento no Brasil e no mundo, ainda existem lacunas no que diz respeito ao conhecimento de como foi definido o sistema estrutural e o método construtivo de alguns edifícios projetados por ele. Mesmo com a vasta bibliografia sobre o arquiteto ainda é possível levantar alguns pontos a serem esclarecidos sobre a sua obra, construída na época com poucos recursos tecnológicos disponíveis.

Neste trabalho, a princípio, busca-se identificar e discutir questões teóricas relevantes sobre a obra de Niemeyer e sobre a relação da arquitetura com a estrutura de uma edificação, das quais se destacam algumas questões como: Quando realmente podemos considerar que houve integração entre arquitetura e estrutura de uma edificação; Porque as obras de Niemeyer são consideradas belas e porque a estética e a beleza são tão importantes para uma edificação; e em quais aspectos as obras de Niemeyer contribuíram para a inovação da tecnologia do concreto armado.

Na década de 40, durante a gestão do então prefeito de Belo Horizonte, Juscelino Kubitschek, foi construído um conjunto de edifícios projetados por Niemeyer para o entorno da lagoa da Pampulha em BH. Esse conjunto de edifícios marca uma nova fase da carreira deste arquiteto, na qual ele definitivamente assume um estilo que iria consagrá-lo. Deste conjunto, foi escolhida a Igreja São Francisco de Assis, popularmente conhecida como "Igrejinha da Pampulha", para um estudo de caso sobre sua estrutura.

Após uma pesquisa de revisão bibliográfica e documental sobre a edificação escolhida e visitas a mesma, foram desenvolvidos modelos numéricos tridimensionais no software SAP2000 com o objetivo de descrever e analisar a estrutura da edificação. Foram utilizados também softwares como AutoCAD e Sketchup como apoio a modelagem no SAP2000.

Palavras-Chave: Estruturas, Oscar Niemeyer, Igrejinha da Pampulha.

## Abstract

Despite the work of architect Oscar Niemeyer have a great acknowledgment in Brazil and in the world, there are still gaps in knowledge about how was defined the structural system and the construction method of some buildings designed by him. Even with the vast literature on the architect, is still possible indicate some points of his work to be explored. Work which was done at a time with few technological resources.

In this paper, at first, we attempted to identify and discuss relevant theoretical questions about Niemeyer's work and about the relation of architecture with the structure of a building, which stand out the following questions: When can we actually consider that there was integration between architecture and structure of a building; why Niemeyer's works are considered beautiful and why esthetics and beauty are so important to a building, and in which aspects the works of Niemeyer contributed to the technology innovation of reinforced concrete. On the 40s, during the administration of Juscelino Kubitschek, the at time Mayor of Belo Horizonte, a group of buildings designed by Niemeyer for the surroundings of Pampulha's lake at Belo Horizonte was built. This set of buildings marks a new phase in the Niemeyer's career, in which he definitely assumes a style that was going to consecrate him. From this set, was chosen the church of São Francisco de Assis (St. Francisco of Assis), popularly known as Igrejinha da Pampulha (Little Pampulha's church) to a case study about its structure.

After a literature review, documental research about the chosen building and visits the same, numerical three-dimensional models were developed in SAP2000 software, with the purpose of describing and analyzing the structure of the building. We also used softwares such as AutoCAD and Sketchup support for modeling in SAP2000.

Keywords: Structure, Oscar Niemeyer, Igrejinha da Pampulha

## 1. Introdução

Oscar Niemeyer é um arquiteto com uma carreira de grande repercussão mundial. Entre outros aspectos, a obra de Niemeyer se destaca pela boa relação entre arquitetura e estrutura de seus projetos e pela forma como ele explora a plasticidade do concreto armado. Como resultado desta maneira de enxergar a arquitetura, este arquiteto possui uma obra rica em edificações com formas ousadas, exuberantes e comarrojada expressão estrutural.

Os engenheiros calculistas que trabalharam com Niemeyer foram muito importantes para que sua obra obtivesse tanto êxito. Entre eles podemos citar quatro como principais parceiros de trabalho: Emílio Baumgart, Joaquim Cardozo, Bruno Con-tarini e José Carlos Sucesskind.

Baumgart esteve com Niemeyer somente durante a segunda metade da década de 30. Cardozo acompanhou o arquiteto principalmente nas décadas de 40, 50, 60 até o início dos anos 70. Con-tarini tem a confiança de Oscar Niemeyer desde o final da década de 60 e ainda participa das discussões estruturais com o arquiteto. Sussenkind passou a relacionar profissionalmente com Niemeyer na década de 70 e apresenta grande afinidade profissional e pessoal com Oscar Niemeyer (GALVANE JR., 2004)

Dentre esses engenheiros destaca-se Joaquim Cardozo, que ficou conhecido como engenheiro da Poesia. “Ele acompanhou com sensibilidade o arrojo estrutural das novas formas propostas pelo arquiteto, criando novos detalhes construtivos para dar vida às formas livres, tão diferentes da rigidez que se via na época.” (SANTANA, 1998 apud INOJOSA, 2010)

Na década de 40, Joaquim Cardozo foi convidado por Niemeyer para fazer o cálculo estrutural de um conjunto de edifícios a ser construído as margens da Lagoa da Pampulha em Belo Horizonte. Entre estes edifícios está a Igrejinha da Pampulha, que foi escolhida para um estudo mais aprofundado neste trabalho.

Sendo assim, como objetivo geral propõe-se discutir a relação e conseqüentemente os conflitos existentes entre a concepção estrutural e a concepção arquitetônica, por meio da avaliação estrutural, como estudo de caso, da Igrejinha da Pampulha, do arquiteto Oscar Niemeyer. Mais especificamente este trabalho tem como objetivo descrever e analisar o sistema estrutural da igreja da Pampulha por meio de modelos desenvolvidos no SAP2000.

O estudo e a relevância do tema selecionado se justificam principalmente pela importância da

obra do arquiteto Oscar Niemeyer para arquitetura e engenharia moderna brasileira e mundial; pela lacuna que ainda existe em relação à documentação e estudo sobre a definição do sistema estrutural e do método construtivo, não só das obras de Niemeyer, mas de muitas obras importantes na história do Brasil; e pela importância da relação forma estrutural, forma arquitetônica para o resultado final de uma edificação e para todo o processo de projeto da mesma.

Este trabalho foi desenvolvido segundo os seguintes procedimentos metodológicos: Revisão bibliográfica; Pesquisa documental; Modelagem numérica tridimensional das edificações selecionadas; Descrição da estrutura das obras selecionadas; Análise do caso estudado.

### 1.1. Concepção Estrutural, Concepção Arquitetônica

Através de revisão bibliográfica foi possível observar que uma das razões pela qual as edificações projetadas por Niemeyer tiveram grande destaque no cenário brasileiro e mundial foi a relação atípica, para o contexto de sua obra, entre a concepção estrutural e a concepção arquitetônica de seus projetos.

Em tempos bastante remotos não existia uma distinção clara de profissões como conhecemos atualmente, os profissionais atuavam em diversas áreas de conhecimento, inclusive os profissionais da área da construção. Sendo assim, a figura do engenheiro e do arquiteto não eram bem definidas. O primeiro sistema de regulamentação profissional de engenheiros e arquitetos, no Brasil, foi oficializado em 1933, através da fundação do sistema CREA/CONFEA no Rio de Janeiro. Com o passar dos anos as profissões foram adquirindo características próprias e se diferenciando. Aos poucos esses profissionais se distanciaram, chegando a tal ponto que a troca e a comunicação entre essas duas áreas de atuação ficaram prejudicadas.

Atualmente, podemos atribuir esse distanciamento dessas áreas de atuação a vários fatores, entre eles podemos citar dois como principais: a deficiência na formação acadêmica desses profissionais a qual, em geral, não promove a integração entre essas áreas de conhecimento e “a perda da influência que a arquitetura gozava até meados do século XX como centro ideológico do modernismo, e sua conseqüente decadência como profissão relevante aos olhos da sociedade.” (MAPHUZ, 2004)

Este contexto descrito acaba tendo como conseqüência a negligência, durante a concepção de projetos arquitetônicos, das necessidades relacionadas aos sistemas estruturais e construtivos a de uma edificação.

Sobre a concepção estrutural e concepção arquitetônica de uma edificação (REBELLO, 2006) diz que “não se pode imaginar uma forma que não necessite de uma estrutura ou uma estrutura que não tenha uma forma.” “Logo, Quem cria forma cria estrutura.” Ele explica que “o que acontece é que nem sempre o criador da arquitetura tem consciência de que no seu ato criador dos espaços está intrínseco o ato criador da estrutura.”

Podemos perceber que a constatação colocada por REBELLO é reflexo do paradoxo da estrutura apontado por (SALVADORI, 2006) o qual explica que este paradoxo da estrutura está no fato de que para determinar as dimensões de um elemento estrutural dependemos da carga estimada para que ele suporte e para determinar quanto um elemento estrutural pode carregar precisamos das suas dimensões.

Outra particularidade apontada por (REBELLO, 2006) é que a melhor estrutura na verdade não existe. “Existe uma boa estrutura que resolve bem alguns pré-requisitos. Assim mesmo, não resolve todos os requisitos com o mesmo grau de eficiência. É função de quem concebe a estrutura fazer com que, apesar de hierarquizados, os requisitos sejam atendidos da forma mais eficiente possível.”

Portanto, “não há consenso sobre os procedimentos projetuais que podem conduzir à boa arquitetura e muito menos que caracterize obras de qualidade superior no início deste novo século.” (MAPHUZ, 2004)

Diante da relevância da relação entre a concepção arquitetônica e a concepção estrutural de uma edificação, cabe levantar um questionamento: Quando podemos considerar que houve integração entre a arquitetura e a estrutura de uma edificação?

Partindo da citação de REBELLO, 2006 “quem cria forma cria estrutura”, podemos inferir que arquitetura e estrutura já são integradas por natureza. Pois arquitetura é expressada através de formas, e integração nada mais é que pertencer, constituir. Logo, quem cria arquitetura cria estrutura e se uma não existe sem a outra elas podem ser consideradas elementos naturalmente integrados.

Sendo assim, a pergunta mais adequada seria: quando podemos considerar que houve uma boa integração entre arquitetura e estrutura? E não se esta integração existe ou não.

Apesar de estarem integradas naturalmente, esta relação de integração pode não ser satisfatória, pois sabemos que existe um conflito nessa associação. Este duelo ocorre porque não estamos falando de formas de objetos generalizados, es-

tamos falando de formas de objetos edificados, os quais necessitam de elementos com características e demandas específicas. Elementos como paredes, vigas, pilares e que possuem demandas como: formas com dimensões e geometria adequadas para que suportem as cargas dimensionadas de acordo com as características de resistências dos materiais escolhidos e as condições de segurança da estrutura; ambientes com geometria coerente com a atividade que irá se desenvolver nele; condições de conforto ambiental, boa relação com o entorno; entre outras demandas. Podemos considerar que esse conflito também está relacionado a falta de consciência do ato criador da estrutura citada por REBELLO, 2006.

## 1.2. Estética

É possível observar na literatura disponível e em entrevistas dadas por Oscar Niemeyer que ele sempre justifica suas decisões de projeto pela busca pela beleza e pelo encantamento.

A partir desta ênfase trazida por Niemeyer à beleza consideramos importante, mesmo para o estudo das estruturas de suas obras, investigar porque elas são consideradas belas.

Pudemos levantar dois aspectos para justificar porque as obras de Niemeyer são consideradas belas pelo público em geral.

Sabe-se que a beleza está relacionada a um juízo feito pelas pessoas que leva em consideração conhecimentos anteriores adquiridos por ela, por isso, o primeiro aspecto a ser considerado seria a universalidade das formas utilizadas por ele. Ele utiliza formas simples e de fácil compreensão das pessoas em geral.

Ao apontar razões pelas quais a obra de Niemeyer merece ser observada MAPHUZ, 2007 aponta algumas características que podemos considerar que influenciam a obra de Niemeyer a ser considerada bela, são elas: a utilização de formas elementares; número de elementos limitados; obra sintética, fácil de entender e fácil de memorizar, por isso, com alto poder simbólico; e seu traço característico é a recorrência. “O verdadeiro ato criativo não está no elemento, mas na forma de associá-los.” (MAPHUZ, 2004)

Já o outro aspecto seria pelo ineditismo das formas utilizadas por ele em seus edifícios. Mas ineditismo não no sentido de inventar formas que não existiam antes, mas de usá-las de maneira que não tinham sido usadas até então.

Neste contexto, é interessante ponderarmos também sobre: porque se valoriza tanto a estética de um edifício/estrutura? Porque não é suficiente que

o edifício/estrutura apenas se mantenha em pé e atenda a questões funcionais?

Segundo PULS, 2000:

A relação entre sujeito e objeto define o valor-de-uso material da construção - a sua função. Mas, além desse valor-de-uso material, a construção pode comportar ainda uma utilidade ideal: o objeto pode despertar a atenção de um segundo consumidor, diferente do primeiro - o contemplador. (...) Para este, a obra arquitetônica não vale por suas qualidades funcionais, mas por suas propriedades estéticas: em vez de ser “boa para morar”, ela é “boa para pensar”. A construção é um objeto para a vida, mas a arquitetura é um objeto para a reflexão. A obra encerra uma contradição entre funcionalidade e beleza. A primeira é um valor-de-uso material para o usuário; a segunda é um valor-de-uso ideal para o contemplador.

PULS, 2000 esclarece também que a “beleza e funcionalidade não são iguais, e é por esse motivo que admiramos construções que há muito perderam qualquer utilidade material como, por exemplo, o Partenon, o Coliseu e o Panteão. Essa é uma evidência de que a beleza é completamente distinta da funcionalidade, e que o inútil é, com frequência, mais belo que o útil.” O que PULS procura demonstrar é que a imagem de uma edificação pode até chegar a ser mais importante que o seu uso.

Sendo assim, podemos constatar que não se pode deixar apenas como pano de fundo as questões estéticas e da forma de uma edificação. Pois essa é uma variável importante para a determinação do valor da edificação em vários sentidos, tanto materiais quanto imateriais e conseqüentemente também será determinante para as decisões de projeto em todas as instâncias, inclusive na dimensão estrutural da edificação.

### 1.3. O Concreto Armado

O concreto armado foi a tecnologia que proporcionou a Niemeyer a possibilidade de usar com as formas das edificações. Este se tornou um material muito importante para civilização principalmente devido a abundância de matéria-prima.

Boa parte da história do concreto armado é contada baseada no registro de patentes relacionadas a esta tecnologia.

A construção de alguns edifícios marca pontos importantes da história da tecnologia do concreto armado. Desses, este trabalho destaca três: O Farol de Eddystone, Igreja de Santa Genoveva, hoje Pantheon, em Paris, e a ponte sobre o rio Dordogne.

A necessidade de construir o Farol de Eddystone em ambiente agressivo levou Smeaton a descobrir um aglomerante de excelente qualidade para o concreto; a necessidade de executar grandes vigas levou os construtores do Pantheon a associar uma armação de ferro à pedra; e a necessidade de produzir uma argamassa que endurecesse embaixo d'água, para a ponte sobre o rio Dordogne levou Vincat a desenvolver um teste utilizado até os dias de hoje. Diante disso, podemos perceber que os desafios propostos por certas edificações ao longo da história impulsionaram a evolução da tecnologia do concreto armado. Eles instigaram os construtores a desenvolver inovações para solucionar a demanda de uma construção específica, mas que acabaram refletindo no uso da tecnologia como um todo.

Neste ponto é interessante abordar que as edificações propostas por Niemeyer também foram consideradas desafios a tecnologia do concreto armado de sua época, principalmente pelas formas inusitadas proposta por ele. Podemos citar o exemplo das colunas do Palácio do da Alvorada, que segundo GALVANE JR., 2004 “tal era a singularidade das colunas idealizadas por Niemeyer que os construtores executaram antes de começar as fôrmas, um molde em tamanho real da coluna.” GALVANE JR. Cita também outro exemplo: o da estrutura da Universidade de Constantine, na Argélia. A qual chegou a ser considerada inexecutável por engenheiros franceses, mas prontamente projetada pelos profissionais brasileiros.

Sabe-se que, muitas vezes, a teoria de cálculo estrutural desenvolvida até então não era suficiente para garantir a segurança e para viabilizar as estruturas para as obras projetadas por Niemeyer. Sendo assim, em que aspectos os edifícios de Oscar Niemeyer representaram avanços e inovações dos sistemas estruturais em concreto armado?

Podemos analisar as inovações trazidas pela obra de Niemeyer por dois aspectos: do produto e do processo.

Do ponto de vista do produto é notória a contribuição de Niemeyer para a inovação. Mesmo um leigo é capaz de perceber as novidades propostas pelo arquiteto na geometria de suas edificações, pois Niemeyer rompeu de uma forma brusca com o que era construído até então. A principal inovação em relação à geometria foi o uso das curvas.

Do ponto de vista do processo não são tão evidentes as inovações propostas pela sua obra, já que um dos pontos que ela mais se destaca é pela singularidade acima da média. Tanta peculiaridade dificulta que estabeleçamos parâmetros de comparação com outras obras, e conseqüentemente ofusca a repercussão que sua obra possa ter obtido em relação aos procedimentos de execução. Outra questão que tornam as inovações em relação ao processo pouco evidentes é a falta de documentação técnica em relação as suas obras. “Apesar da obra de Niemeyer ter sido divulgada e discutida ao longo de quase 70 anos é escassa a documentação primária publicada a cerca de seu trabalho.” (MACEDO, 2002)

## 2. Igrejinha Da Pampulha

Na década de 40, durante a gestão do então prefeito de Belo Horizonte, Juscelino Kubitschek, foi construído um conjunto de edifícios projetados por Niemeyer para o entorno da lagoa da Pampulha em BH. Esse conjunto de edifícios marca uma nova fase da carreira deste arquiteto, na qual ele definitivamente assume um estilo que iria consagrá-lo. Neste projeto ele propôs edifícios com formas curvas, explorando ao máximo a plasticidade do concreto. Deste conjunto, foi escolhida a Igreja São Francisco de Assis, popularmente conhecida como “Igrejinha da Pampulha”, para um estudo de caso sobre sua estrutura. A Igrejinha foi escolhida, pois, do conjunto, é a que possui formas mais ousadas.

**Figura 1:** Igrejinha da Pampulha



Fonte: Autora

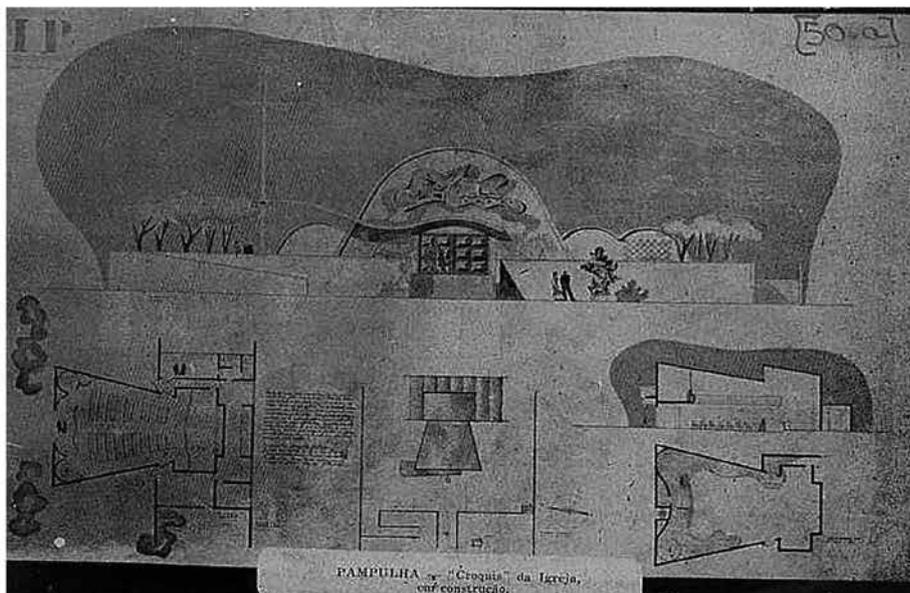
Na pesquisa documental, foi possível encontrar uma vasta documentação sobre as reformas e restaurações pelas quais a igrejinha passou e alguns croquis e cópias parciais da documentação do projeto original.

Porém, até a restauração de 2003, na qual foram feitos estudos significativamente aprofundados sobre a situação da edificação “nenhuma das intervenções procurou-se estudar mais profundamente a causa principal dos danos e todas as reformas foram feitas em caráter empírico e experimental. (PUCCIONI, 1998)

Entre as poucas informações do projeto original está a Figura 2. Ela foi encontrada no relatório de gestão dos anos 1941 e 1942, do então prefeito de Belo Horizonte Juscelino Kubitschek.

A indicação na imagem a descreve como “PAM-

**Figura 2:** Croquis da Igreja da Pampulha encontrados no relatório de gestão 1941-1942 do prefeito de Belo Horizonte, Juscelino Kubitschek.



Fonte: Relatório de Gestão 1941-1942

PULHA - croquis da igreja em construção”. Percebe-se que os dois desenhos de plantas não são exatamente iguais o que nos leva a inferir que se tratam de desenhos de um estudo preliminar.

Não são feitas referências diretas a essas imagens no texto do relatório. Portanto, não foi possível identificar porque elas não correspondem completamente ao que foi construído. É possível observar que nesses desenhos a marquise da fachada principal está espelhada e não tem a mesma forma da marquise construída na igreja. Também é possível perceber que a forma da casca que cobre a nave não é parabólica como a que foi construída e que a fachada não tem a abertura em vidro. Consta-se também que as dimensões da relação entre os volumes da igreja não são as mesmas da edificação que foi construída e que há uma rampa para acesso a entrada principal que também não corresponde ao edificado.

Sobre a relação da igrejinha com o entorno é interessante observar que apesar de ser uma edificação fora dos padrões, a igreja se integra muito bem à paisagem, não chamando mais atenção que seu entorno. Essa boa relação se deve principalmente a sua geometria e suas dimensões.

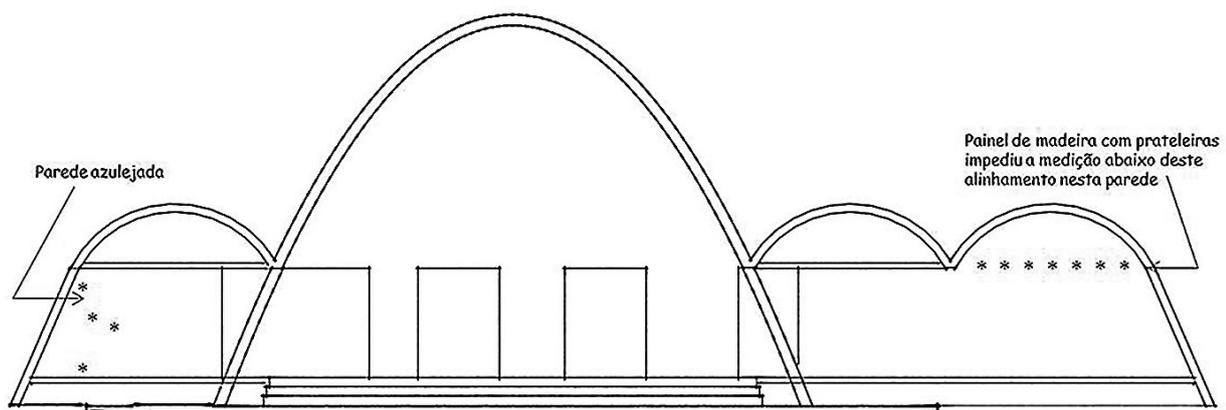
Atualmente a edificação é aberta somente para visitaç o de turistas, mas seu entrono   muito freq entado pela popula o local como  rea de lazer.

Destaca-se tamb m o bom estado de manuten o, conserva o e limpeza da edifica o. Apesar de algumas pequenas infiltra es   poss vel dizer que a edifica o atualmente encontra-se bem preservada.

### 3. Modelagem

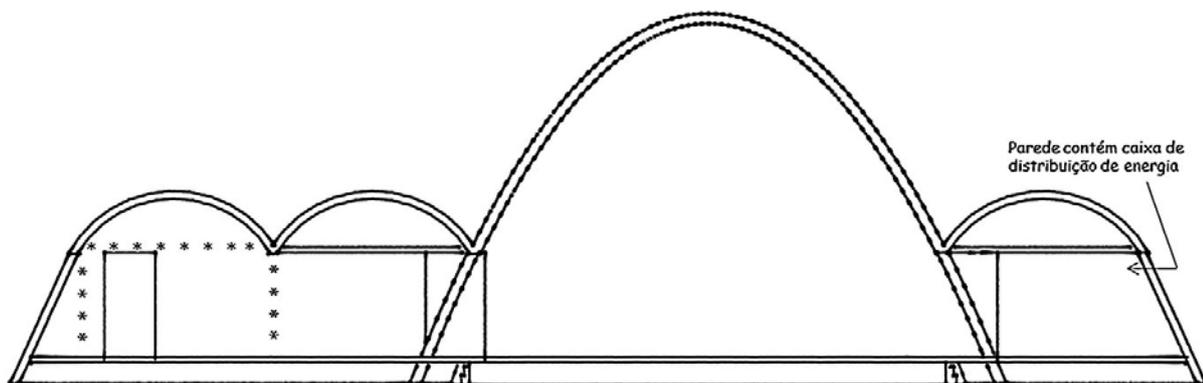
A partir das informa es obtidas em rela o   Igrejinha da Pampulha iniciou-se a modelagem

**Figura 3:** Mapa das Medi es com o pac metro



Fonte: Autora; desenvolvido no AutoCAD e CorelDraw

**Figura 4:** Mapa das Medi es com o pac metro



Fonte: Autora; Desenvolvido no AutoCAD e CorelDraw

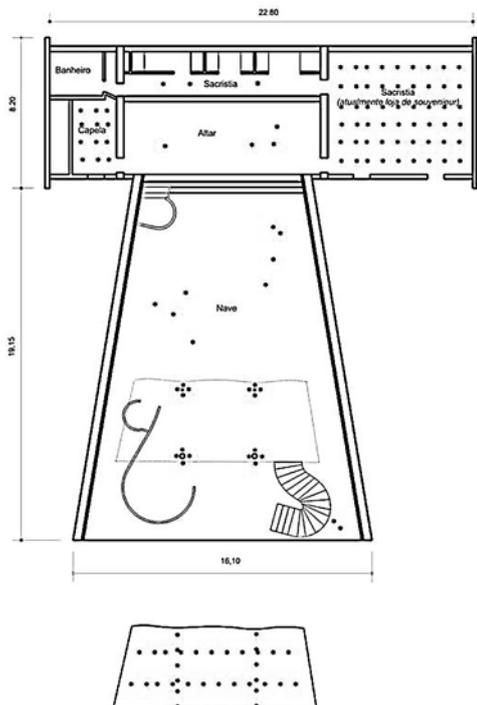
estrutural para se fazer a simulação numérica de sua estrutura e comparar com os dados obtidos em relação ao projeto.

Como o projeto estrutural original da igreja não foi encontrado, foi necessária uma investigação em relação à existência de alguns elementos estruturais. Para tal, empregou-se um detector de metal (pacômetro) para fazer uma inspeção in loco para confirmar a existência de peças estruturais como vigas, pilares e lajes. As Figuras 3, 4, e 5 mostram os resultados dessas inspeções. Os pontos em vermelho indicam lugares onde o aparelho indicou a presença de barras de aço.

A Figura 3 mostra um corte do conjunto de cascas menores, visto no sentido sul da edificação, com um mapa dos pontos onde o pacômetro indicou a presença de barras de aço. Já a figura 4 mostra o mesmo corte, porém, visto do sentido oposto.

A Figura 5 mostra a planta da edificação, incluindo o mezanino, também com um mapa dos pontos em que o pacômetro indicou a presença de barras de aço.

**Figura 5:** Mapa das Medições com o pacômetro em todo piso da edificação e no mezanino

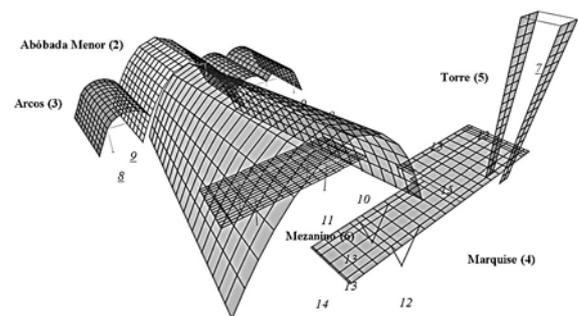


Fonte: Autora; desenvolvido no AutoCAD e CorelDraw

Essas medições não obtiveram resultados contundentes. Pois, no piso da nave e do altar as medições não levaram a resultado conclusivos. Já as medições das paredes e do mezanino indicaram a localização de algumas vigas e pilares.

A seguir mostra-se discretização no software SAP2000-V14 para simular igreja da Pampulha. Para auxiliar à modelagem neste programa, foi desenvolvido um modelo esquemático em AutoCAD. Depois de desenvolvido o modelo, ele foi importado pelo SAP2000 por partes, divididas em layers, que foram definidos de acordo com espessura de cada elemento (Figura 6). Os planos desenhados no Autocad foram redivididos no SAP2000 para formarem uma malha mais densa e assim gerar valores mais precisos na avaliação da estrutura.

**Figura 6:** Visão Geral Modelo SAP2000



Fonte: Autora; desenvolvido no SAP2000

A definição dos elementos estruturais no SAP2000 foi feita de acordo com a Tabela 1.

**Tabela 1: Elementos**

#### SHELL

- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
| 1 | Abobada Maior /espessura = 33cm |
| 2 | Abobada Menor /espessura = 20cm |
| 3 | Arcos /espessura = 15cm         |
| 4 | Marquise /espessura = 5cm       |
| 5 | Torre /espessura = 36cm         |
| 6 | Mezanino / espessura = 35cm     |

#### FRAME

- |    |  |
|----|--|
| 7  | Viga torre /seção = 36x36cm  |
| 8  | Pilares Sacristia /seção = 20x30cm   |
| 9  | Viga Sacristia /seção = 40x20cm  |
| 10 | Vigas Mezanino /seção = 35x35cm  |
| 11 | Pilares Mezanino /seção = $\varnothing$ 28cm; $\varnothing$ 8cm  |
| 12 | Apoio Marquise / seção = $\varnothing$ 6,4cm   |
| 13 | Viga1 Marquise / seção = 25x70cm   |
| 14 | Viga 2 Marquise / seção = 25/20cm  |
| 15 | Viga 3 Marquise / seções = trecho1: 25x50cm; trecho2: 25x55cm; trecho3: 25x60cm; trecho4: 25x70cm; trecho5: 25x80cm; trecho6: 90x50cm. |

Para a análise estrutural foram consideradas as seguintes cargas: Peso Próprio (G); Sobrecarga (Q) e Vento (V). Sendo que na casca de cobertura foi considerada sobrecarga de 200 Kg/m<sup>2</sup> também

na direção da gravidade. Já para o vento, foi considerada uma carga de 90 kg/m<sup>2</sup> na direção horizontal em uma das faces laterais da edificação.

Os carregamentos foram analisados segundo as seguintes combinações de carga:

- Estado Limite Último
  - 1,4G + 1,4Q + 0,84V (Combinação 1)
  - 1,4G + 1,4V + 0,7Q (Combinação 2)
  - 1,4G + 1,4Q (Combinação 3)
- Estado Limite de Serviço
  - 1,0G + 1,0Q + 1,0V (Combinação 4)

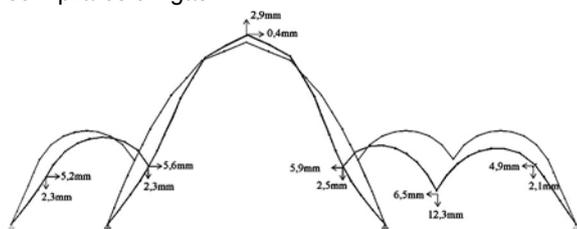
Os materiais foram configurados de acordo com os dados do artigo de AGUIAR, J. E. D. et al. “Monitoramento e avaliação estrutural da igreja da Pampulha: como resolver um problema de 50 anos.” Que diz que a média das resistências à compressão das amostras de concreto ensaiadas foi de 24,60 MPa e a média dos módulos de elasticidade foi de 28,046 GPa, sendo estes resultados avaliados por ensaio de ultra-sonografia através do aparelho PUNDIT, em sistema de transmissão direta com transdutores de 54 kHz.

#### 4. Análises

Com o objetivo de verificar o comportamento do sistema estrutural, foi feita uma simulação com as quatro combinações de carga citadas considerando a estrutura com e com e sem pilares e vigas na região das cascas menores.

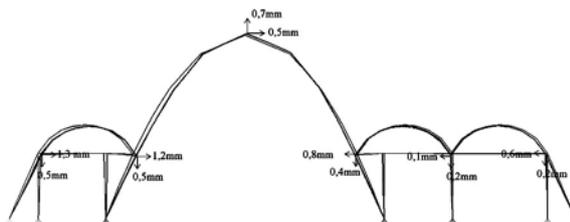
As Figuras 7 e 8 mostram, como era de se esperar, que a estrutura se mostrou mais estável com as vigas e pilares na região da sacristia. O deslocamento máximo nessa região diminuiu de 14mm para 2mm.

**Figura 7:** Deformação para a combinação de serviço, sem pilares e vigas



Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000

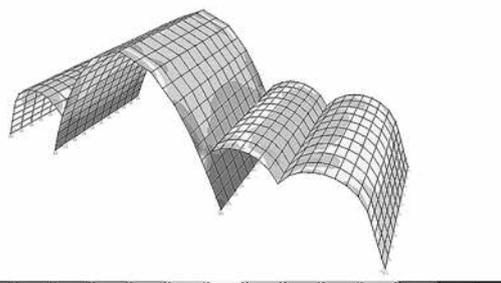
**Figura 8:** Deformação para a combinação de serviço, com pilares e vigas



Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000

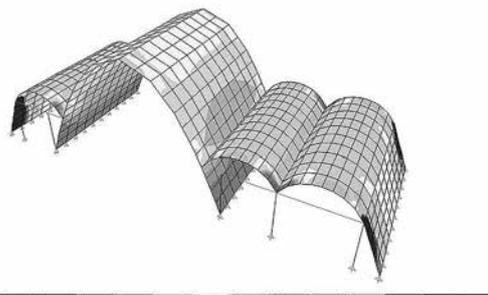
As Figuras 9 e 10 mostram os resultados dos esforços normais no conjunto das cascas menores. A escala de cores usada teve a mesma configuração em todas as variações simuladas, e ela foi configurada entre 16.000Kgf à compressão e 13800 Kgf à tração. Essa configuração foi escolhida baseada no resultado da simulação do conjunto das cascas menores com pilares. A mesma foi usada desta forma para que as cores significassem os mesmos valores em todas as análises e simplificasse a comparação dos resultados. Assim, as regiões em tons de amarelo, laranja, vermelho e magenta então sendo comprimidas, sendo que, a intensidade do esforço aumenta nessa mesma ordem. As regiões em tons de verde, cian e azul estão sendo tracionadas e o esforço também aumenta de intensidade nessa mesma ordem.

**Figura 9:** Forças Normais para combinação 1, sem pilares e vigas



Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000

**Figura 10:** Forças Normais para combinação 1, com pilares e vigas

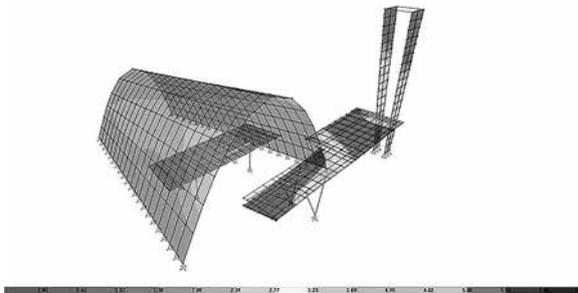


Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000

Analisando as imagens é possível perceber que os valores de compressão em geral diminuíram e que apareceram esforços de tração nas bordas das paredes laterais e no encontro entre dois arcos. Pode-se observar também que onde apareceram as trações os esforços pouco alteraram de intensidade, sendo assim eles apenas mudaram de sentido, ficando negativo, o que é comum em regiões de apoio.

Como mostra a Figura 10, no restante da estrutura da edificação os maiores deslocamentos estão na marquise e no topo da torre, variando entre 50 e 68mm. Já na casca que cobre a nave e no mezanino os deslocamentos ficaram entre 0 e 3mm.

**Figura 11:** Deformação para combinação de carga 1, com a escala de cores em metros.

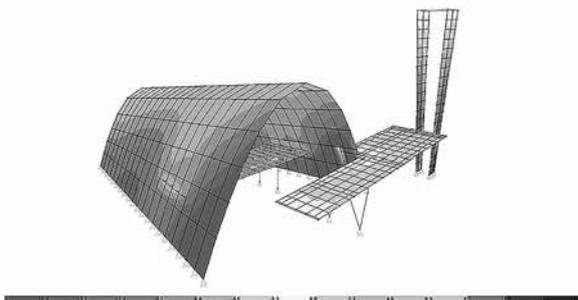


Fonte: Autora; Desenvolvido no SAP2000

Os gráficos mostram que as cascas são estruturas com muita rigidez, produzindo deslocamentos bem pequenos se comparados com a laje da marquise de acesso.

O diagrama de forças normais, na Figura 11, demonstrou que tanto a casca maior quanto o mezanino estão predominantemente submetidos a compressão, sendo que, aparecem esforços de tração no encontro da marquise com as cascas, na marquise e na base da torre.

**Figura 12:** Forças Normais para combinação de carga



Fonte: Autora; desenvolvido no SAP2000

## 5. Considerações Finais

Sem dúvida, o legado da obra de Niemeyer é muito significativo e representou um novo olhar sobre a tecnologia do concreto armado e sobre a estética das edificações em concreto armado. Sendo que as principais características de Niemeyer observadas são a ousadia e a confiança em suas idéias.

Com a descrição da estrutura da edificação estudada, fica claro como a concepção estrutural e a concepção arquitetônica estão intimamente ligadas, pois poucos são os elementos que compõem essa edificação que não tem função estrutural. No caso da Igrejinha há poucos fechamentos e divisões internas. Isso fortalece a idéia de que o que se deve discutir não é se existe ou não integração entre a estrutura e a arquitetura de uma edificação e sim o quanto essa integração é eficiente.

A simulação estrutural deixou clara a complexidade da estrutura da Igrejinha da Pampulha, apesar de sua forma relativamente simples. Foi possível avançar em relação ao conhecimento do sistema estrutural e do método construtivo da obra. As medições e a simulação numérica indicaram a existência de elementos estruturais que, em geral, não são descritos na literatura.

## 6. Referências

AGUIAR, J. E. D. et al. Monitoramento e avaliação estrutural da igreja da Pampulha: como resolver um problema de 50 anos. Ibracon, 2003

GALVANE JR., J. A engenharia de estruturas na arquitetura de Oscar Niemeyer. São Paulo: Poli-USP, 2004.

INOJOSA, L. O sistema estrutural na obra de Niemeyer. Dissertação de mestrado. Brasília: UnB, 2010.

MACEDO, D. M. A matéria da invenção: a criação e construídas obras de Niemeyer em Minas Gerais 1938-1945. Belo Horizonte: UFMG, 2002.

MAPHUZ, E. D. C. Arqutextos - Reflexões sobre a construção da forma pertinente. Vitruvius, 2004. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arqutextos/04.045/606>>. Acesso em: Setembro 2011.

MAPHUZ, E. D. C. Cinco razões para olhar a obra de Oscar Niemeyer. Arquitetura e Urbanismo, n. 165, Dezembro 2007.

PULS, M. Um arquiteto do comunismo. Cultura Vozes, v. 94, 2000

PUCCIONI, S. Anamnese Estrutural. IPHAN-MG, 1999

REBELLO, Y. C. P. A concepção estrutural e a arquitetura. 4ª Ed. ed. São Paulo: Zigurate, 2006.

SALVADORI, M. Por que os edifícios ficam de pé? São Paulo: Martins Fones, 2006.