



Centro Universitário de Brasília – UniCEUB  
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas –  
FATECS  
Engenharia Civil

**PEDRO HENRIQUE FRANÇA SILVA LOPES DE SOUZA**

**O USO DO CONCRETO ARMADO NA INTERAÇÃO ENTRE ARQUITETURA E  
ESTRUTURA: ANÁLISE DE CASOS BRASILEIROS**

Brasília  
2016

**PEDRO HENRIQUE FRANÇA SILVA LOPES DE SOUZA**

**O USO DO CONCRETO ARMADO NA INTERAÇÃO ENTRE ARQUITETURA E  
ESTRUTURA. ANÁLISE DE CASOS BRASILEIROS**

Trabalho de Curso (TC) apresentado como  
um dos requisitos para a conclusão do curso  
de Engenharia Civil do UniCEUB – Centro  
Universitário de Brasília

Orientador: MSc Marcos Henrique Ritter de  
Gregorio

Brasília  
2016

**de Souza**, Pedro Henrique França Silva Lopes de Souza

**O USO DO CONCRETO ARMADO NA INTERAÇÃO ENTRE ARQUITETURA E  
ESTRUTURA. ANÁLISE DE CASOS BRASILEIROS**

Pedro Henrique França Silva Lopes de Souza – Brasília, 2016

98 p.

Trabalho de Curso (TC) apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB – Centro Universitário de Brasília

**PEDRO HENRIQUE FRANÇA SILVA LOPES DE SOUZA**

**O USO DO CONCRETO ARMADO NA ENGENHARIA E ARQUITETURA  
BRASILEIRA**

Trabalho de Curso (TC) apresentado como  
um dos requisitos para a conclusão do curso  
de Engenharia Civil do UniCEUB– Centro  
Universitário de Brasília

Orientador: MSc Marcos Henrique Ritter de  
Gregorio

Brasília, 2016

**Banca Examinadora**

---

Arquiteto e Urbanista:  
MSc. Marcos Henrique Ritter de Gregorio  
Orientador

---

Arquiteto e Urbanista:  
MSc. Francisco Afonso de Castro Júnior  
Examinador interno

---

Engenheiro Civil:  
Dsc. Márcio Augusto Roma Buzar  
Examinador externo

---

Arquiteto e Urbanista:  
MSc Leonardo da Silveira Pirillo Inojosa  
Examinador externo

## RESUMO

O relacionamento entre arquitetos e engenheiros é frequentemente questionado, sendo na área acadêmica ou no mercado de trabalho, conflitos de interesse gerados muitas vezes sobre pontos de vistas diferentes. Um fator muito importante e decisivo é o material utilizado, essa decisão deve ser tomada em conjunto, sendo um fator determinante sobre possibilidades arquitetônicas assim como funcionamento estrutural. O Brasil tem um grande histórico com obras de concreto armado. Este trabalho de pesquisa visa entender o relacionamento entre os três fatores supracitados, por meio de um estudo histórico da arquitetura e da engenharia, sobre utilização de concreto armado e como é o funcionamento estrutural. A partir da união dos elementos podem ser criadas verdadeiras obras de arte. Serão abordados diversos fatores e consequências da atual conjuntura, destacando inclusive profissionais que obtiveram êxito em se relacionar de maneira harmônica e seus resultados. A partir dos estudos de caso, foi possível observar que a forma escolhida contribui para a otimização da estrutura, o arrojo arquitetônico não só traz apelo estético, mas também contribui para o melhor aproveitamento da estrutura de concreto armado.

**Palavras-chave:** Residência José Silva Netto. Sistemas estruturais em concreto. História do Concreto. História Arquitetura e Engenharia Brasileira.

## **ABSTRACT**

The relationship between architects and engineers is often questioned, in the academic field or in the job market, conflicts of interest generated on different opinions. A very important and decisive factor is the material used, this decision should be taken together, being a determining factor on architectural possibilities as well as optimizing structural arrangement. Brazil has a great history with the use of concrete as the main material. This research aims to understand the relationship between the three factors above, through a historical study of the relationship of architecture and engineering, on the use of reinforced concrete as structural system. From the union of the elements can be created true works of art. There will be examined several factors and consequences of the current situation, highlighting professionals who have been successful in relating harmoniously. From the case studies, it was observed that the form chosen contributes to the optimization of the structure, the architectural boldness not only brings aesthetic appeal, but also contributes to the best use of reinforced concrete structure.

**Key-words:** Residência José Silva Netto. Estrutural Systems in Concrete. History of Concret. Brazilian Architecture and Civil Engineering History.

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Processo de projeção com ênfase no Lançamento estrutural, destaca-se a constante relação de feedback entre os profissionais envolvidos neste processo.	13
Figura 2– Representação Gráfica da Lei de sitter, também conhecida como Lei dos 5 .....	14
Figura 3- Vaso feito com argila entre 3.000 a.C. e 1.100 a.C. ....	16
Figura 4- Exemplo da arquitetura grega o Parthenon .....	17
Figura 5 Representação da técnica construtiva do concreto ciclópico .....	18
Figura 6- Pantheon visto de fora .....	19
Figura 7- Vista interna da cúpula do Pantheon .....	20
Figura 8- Ponte sobre o rio Tejo, em Alcantara , Espanha.....	21
Figura 9- Ponte/aqueduto sobre o rio Gard, Nimes, França.....	21
Figura 10- Representação do ensaio de viga engastada executado por Galileo .....	22
Figura 11– Representação do Monumento ao grande Incêndio.....	23
Figura 12- O barco fabricado por Lambot .....	24
Figura 13– Ponte em concreto armado projetada e construída por Monier no castelo de Chanzelet na França .....	25
Figura 14– Ward’s Castle .....	26
Figura 15- Seção transversal de uma viga e forma como a mesma trabalha .....	28
Figura 16- Efeito de protensão sobre uma viga retangular .....	29
Figura 17– Foto de Emílio Baumgart, pai do concreto armado brasileiro.....	34
Figura 18– Ponte Maurício Nassau, uma das primeiras obras de arte calculada por Baumgart.....	35
Figura 19– Edifício A Noite.....	36
Figura 20- Construção do edifício A Noite, acervo SEEBLA .....	36
Figura 21– Edifício A Noite Hoje, área Tombada .....	37
Figura 22 – Ponte do Herval Santa Catarina, em processo construtivo e acabada ..	37
Figura 23– Ponte do Herval Santa Catarina.....	38
Figura 24- Fachada Edifício Lice Artes do Ofício, 1921. A laje do mesmo tinha espessura de somente 6cm .....	38
Figura 25- Joaquim Cardozo (1897 – 1978).....	39
Figura 26- Palácio da Alvorada em Brasília .....	40
Figura 27- Palácio do Planalto em Brasília.....	41
Figura 28- Maracanãzinho no Rio de Janeiro .....	41
Figura 29- Arquiteto Oscar Niemeyer .....	42
Figura 30- Igreja São Francisco de Assis, Pampulha.....	43
Figura 31- Detalhe do Conjunto Arquitetônico da Pampulha em belo Horizonte .....	43
Figura 32- Edifício Copan, São Paulo .....	44
Figura 33- Casa das Canoas, Rio de Janeiro.....	45
Figura 34 - Universidade de Constantine, Argélia.....	45
Figura 35- João Filgueiras Lima, Lelé, projetando .....	46
Figura 36- Edifício de apartamentos para professores da Universidade de Brasília, Colina 1962 .....	47
Figura 37- Hospital Regional de Taguatinga .....	48
Figura 38 – Centro Administrativo da Bahia, 1972 .....	48
Figura 39- Observação de forças sobre um galho de uma árvore .....	49
Figura 40– Coluna cretense .....	50
Figura 41– Caminho das forças verticais .....	51

Figura 42- Comparação entre sistema de carregamento distribuído uniforme, variável e pontual .....	52
Figura 43- Classificação de Vigas .....	53
Figura 44- Transferência de carga na viga .....	53
Figura 45- Demonstração de variantes de forças dentro do sistema Viga x Pilar com dois apoios, modelo de gráfico americano .....	54
Figura 46- Comparação entre os sistemas Viga x Pilar bi apoiadas, em balanço e em Pórtico .....	55
Figura 47- Representação dos sistemas .....	56
Figura 48- Treliça representada de forma simples, C pontos com esforço de compressão e T pontos com esforço de tração .....	57
Figura 49- Treliça em concreto armado .....	57
Figura 50- Exemplo de funcionamento de uma viga Vierendel .....	58
Figura 51- Detalhe de uma viga Vierendel .....	58
Figura 52- Detalhe da fachada da estrutura do Hospital Sara Kubitscheck em Brasília .....	59
Figura 53- Representação estrutural de uma viga Gerber pré-moldada .....	60
Figura 54- Ponte Honestino Guimaraes, detalhe construtivo da viga gerber em estrutura metálica (1976) .....	60
Figura 55- Ponte Honestino Guimaraes em Brasília, utiliza o sistema de Viga Gerber .....	61
Figura 56- Laje nervurada .....	61
Figura 57- Formas pré-fabricadas em plástico utilizadas em Laje nervurada .....	62
Figura 58- Detalhe de uma laje nervurada executada .....	63
Figura 59- Distribuição uniforme sobre o sistema estrutural viga x viga grelha .....	64
Figura 60- Diferentes formatos utilizando o sistema de grelha .....	64
Figura 61- Representação dos sistemas estruturais acima desenvolvidos .....	65
Figura 62- Detalhe da utilização de grelha na FAU USP .....	65
Figura 63- Arco .....	66
Figura 64- Fórmula da relação ideal entre flecha e vão .....	66
Figura 65- Ponte Ernesto Dorneles, Rio grande do Sul .....	67
Figura 66- Representação espacial de uma cúpula .....	67
Figura 67- Paralelos e meridianos da Cúpula .....	68
Figura 68- Croqui da catedral feito por Niemeyer .....	70
Figura 69- Projeção da estrutura feita no AutoCad .....	70
Figura 70- Estrutura de escoramento dos pilares .....	72
Figura 71- Diagrama de forças cortantes no eixo Y .....	73
Figura 72- Momentos fletores máximos sujeito a estrutura da catedral. ....	73
Figura 73- Estrutura da catedral .....	74
Figura 74- Vista de fora da catedral de Brasília .....	75
Figura 75- Visão interna, com destaque para a combinação de entrada de luz e os vitrais .....	76
Figura 76- Croqui feito por Niemeyer do Congresso Nacional .....	77
Figura 77- Corte transversal Da Câmara dos Deputados .....	80
Figura 78- Decomposição da estrutura .....	81
Figura 79- Diagrama de Momento Fletor na direção X .....	82
Figura 80- Diagrama de Momento Fletor na direção Y .....	82
Figura 81- Congresso Nacional .....	83
Figura 82- Residência JSN .....	84
Figura 83- Planta do pavimento .....	84

Figura 84- Representação Fachada.....	85
Figura 85 – Representação corte.....	85
Figura 86- Representação da estrutura feita no F-Tool, Situação 1.....	85
Figura 87- Representação de distribuição uniforme dos carregamentos sobre a estrutura.....	86
Figura 88- Comportamento da estrutura em relação a esforço cortante, momento fletor e deslocamento.....	86
Figura 89 - Situação 2 e seu comportamento.....	87
Figura 90- Situação 2.....	88
Figura 91– Situação 3.....	88
Figura 92 – Comportamento estrutural da situação 3.....	89
Figura 93 - Situação 4.....	90
Figura 94 – Situação 5 e seu comportamento.....	91
Figura 95 – Situação 6.....	92
Figura 96- Representação estrutural.....	93
Figura 97- comparativo entre as 3 situação consideradas.....	94

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3</b>	<b>ASPECTOS HISTÓRICOS SOBRE O CONCRETO</b> .....	<b>16</b>
3.1	Antiguidade Clássica.....	16
3.2	O concreto na civilização grega .....	16
3.3	O concreto na Civilização romana .....	18
3.4	O concreto na Idade Moderna.....	22
3.5	O Concreto na Idade Contemporânea .....	23
<b>4</b>	<b>CONCRETO ARMADO SISTEMA CONSTRUTIVO</b> .....	<b>27</b>
4.1	Normas relativa ao uso de concreto armado.....	27
4.2	Concreto de armadura passiva .....	27
4.3	Concreto de armadura ativa.....	28
4.4	VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE CONCRETO ARMADO ..	29
<b>5</b>	<b>CONCRETO ARMADO NO BRASIL</b> .....	<b>33</b>
5.1	Engenheiros .....	33
5.1.1	<b>Emilio Baumgart</b> .....	<b>34</b>
5.1.2	<b>Joaquim Cardozo</b> .....	<b>39</b>
5.2	Arquiteto.....	42
5.2.1	<b>Oscar Niemeyer</b> .....	<b>42</b>
5.2.2	<b>João Filgueiras Lima (Lelé)</b> .....	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>SISTEMAS ESTRUTURAIS</b> .....	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>69</b>
7.1	A CATEDRAL DE BRASÍLIA.....	69
7.2	A CÚPULA INVERTIDA DA CAMARA DOS DEPUTADOS .....	76
7.3	RESIDÊNCIA JOSÉ DA SILVA NETTO (JSN).....	83
<b>8</b>	<b>Conclusão</b> .....	<b>95</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>97</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O relacionamento entre engenheiros e arquitetos é inevitável, uma vez que para que um projeto seja bem-sucedido ambos os profissionais devem estar envolvidos e conscientes de seus desejos e limitações. “A Arquitetura materializa-se viabilizada pela Estrutura” (CASTRO JÚNIOR, 2014) Os arquitetos passam por constantes mudanças, momentos onde os mesmos buscam renovação, inovações. Muitas vezes essa busca de crescimento profissional pode gerar conflitos, entre arquitetos e engenheiros, uma vez que um depende do outro no processo de criação. A arte estrutural é o ponto de encontro entre os profissionais desbravadores, permitindo que ambos explorem seus potenciais ao máximo “a engenharia estrutural tem uma liberdade de criação que se assemelha à Arquitetura” (DEL NERO apud SABBAG, 1987) Deve-se refletir sobre a atual conjuntura, nota-se um afastamento gradativo dos profissionais formados. No entanto, é de entendimento mútuo que somente com uma relação harmônica e equilibrada graças uma parceria bem fundada que se tem um resultado ótimo.

“A Associação da arquitetura e da estrutura ocorre nos primeiros traços delineadores do estudo preliminar arquitetônico. Nesta fase, não se faz necessária a exatidão dos cálculos físico-matemáticos da engenharia. Ao contrário, faz-se necessário o rigor dos conceitos estruturais, o rigor de suas aplicabilidades, o rigor do equilíbrio, princípio fundamental e inerente aos campos da arquitetura e da engenharia. Nesta etapa faz-se imprescindível o raciocínio, a prática e a expressão do desenho e do seu poder sintetizador da intenção criadora do arquiteto momento em que, magistralmente, engendra, desenvolve fórmulas e conclui inúmeros resultados ótimos possíveis. Envolve o conhecimento e o domínio dos fundamentos estruturais concernentes ao projeto de arquitetura, tais como: os sistemas estruturais existentes, a aplicabilidade desses sistemas estruturais, os materiais e tecnologias disponíveis e sua variabilidade no projeto arquitetônico.

Em contrapartida, na engenharia é primordial o entendimento de que a solução estrutural extrapola as fórmulas e os resultados uma vez que a estrutura existe para possibilitar o desempenho das atividades humanas, das mais básicas às mais complexas. A principal função da estrutura é a de manter a edificação estável e segura para o suprimento de seus usuários ao mesmo tempo que viabiliza os espaços arquitetônicos e seus respectivos usos.” (CASTRO JÚNIOR, 2014, pg. 18)

Com a valorização dos profissionais no mercado, aumentando a demanda e eficiência sobre ambos, é crescente a influência do empreiteiro como fator decisivo de viabilidade de projetos, muitas vezes limitando os profissionais em função de fatores financeiros. Segundo Mario Salvadori em “Por Que os Edifícios Ficam de Pé” o arquiteto é o profissional que deve lidar com problemas humanos subjetivos e com

problemas estéticos e sociais enquanto que os engenheiros devem lidar com a física a matemática e o cálculo estrutural.

O engenheiro foi uma consequência da necessidade de um profissional capaz de criar e gerir infraestrutura, enquanto que o objetivo de um arquiteto está mais relacionado com gerir pessoas dentro de um ambiente. Louis Sullivan (1924), com sua visão de arquiteto modernista de início do século 20, em sua máxima buscou sintetizar a sua visão do que se esperava do profissional arquiteto naquele momento com: “A forma segue a função”. Este pensamento objetivo nos dias atuais está mais relacionado com a expectativa que se tem sobre um engenheiro. Alguns anos após Sullivan, Bernard Tschumi (1944) fez uma pequena alteração, porém significativa sobre a direção que o arquiteto deveria seguir com: “A forma segue a ficção”. O arquiteto é capaz de contar uma história a partir de seus traços, não sendo limitado apenas a função de algo e sim ao que aquilo representa. Nota-se que desde o momento de criação de suas profissões os profissionais já estavam predestinados a entrar em conflito. Uma vez que se esperava que o arquiteto desenvolvesse uma visão ampla e artística, enquanto que o engenheiro deveria ser objetivo, direto e sistêmico.

A partir de um levantamento feito por CASTRO JÚNIOR (2014), destaca-se que existe um crescimento exponencial na quantidade de faculdades de arquitetura e engenharia no Brasil. No entanto a interdisciplinaridade entre os estudantes está cada vez mais irrelevante. A partir dos dados coletados, foi estimado que menos de 1/10 do curso de arquitetura se relaciona com o curso de engenharia enquanto que nas engenharias 1/20 tem relação com o curso de arquitetura. Conclui-se que o afastamento dos profissionais gerados é algo completamente esperado, uma vez que no início da formação dos profissionais os mesmos já quase não interagem entre si.

“Os edifícios são estruturas complexas resultantes de um longo processo de projeto, planejamento e construção. As equipes de projeto multidisciplinares envolvem a participação de variados agentes, em uma associação temporária, com diferentes habilidades, estruturas de trabalho e necessidade de informações diversas. [...] Um funcionário engajado num processo de decisão cooperativa precisa ser hábil para controlar a disseminação da informação pertinente ao seu trabalho: o que é pra ser revelado, quando, para quem e de que forma deve ser revelado.” (MANZIONE, pg 7 e 8)

A partir desse afastamento está se valorizando cada vez mais o profissional capaz de realizar a comunicação e a relação entre os projetos, utilizando ferramentas como o BIM (Building Information Modeling- Modelagem de Informação na

Construção). O abismo e a especialização dos profissionais e tornou-se tão grande que necessitou a criação de um novo profissional. Valoriza-se cada vez mais a compatibilização de projetos, a harmonia precisa ser atingida. Existem hoje meios e tecnologias capazes de facilitar este processo no entanto melhor seria uma relação aberta entre ambos uma via de comunicação contínua com troca constante de “Feedback”, assim como destacado por CASTRO JÚNIOR (2014), tornando assim o mecanismo para geração de projeto como na figura abaixo.

Figura 1– Processo de projeção com ênfase no Lançamento estrutural, destaca-se a constante relação de feedback entre os profissionais envolvidos neste processo

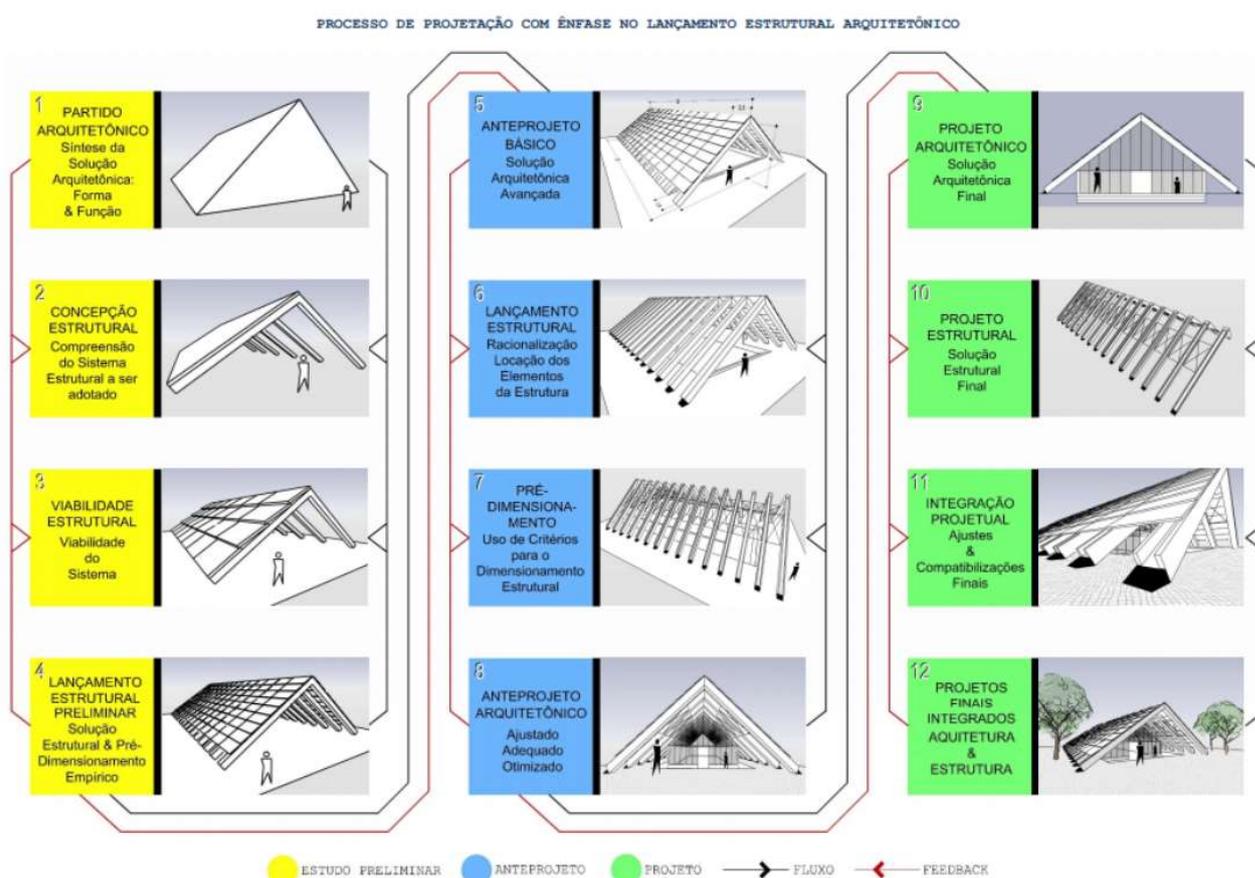


Figura 15: 12 Fases do Processo de Projeção Arquitetônica com ênfase no lançamento estrutural.  
Fonte: Diagrama do autor.

Fonte: CASTRO JÚNIOR, 2014

“Frequentemente, a sobreposição do projeto arquitetônico com os projetos complementares apresenta interferências entre os diversos elementos de uma edificação.

A compatibilização existe para detectar estas interferências ainda na fase de projeto, para então, propor ajustes de modo a harmonizar todos os projetos. Este procedimento evita que as interferências sejam descobertas durante a construção, fato que, geralmente, gera soluções grosseiras, improvisos e retrabalhos.” (DE GREGORIO, 2010)

Levando em conta a lei de Sitter, que relaciona o custo da manutenção preventiva em diversas fases de um empreendimento. Ressaltando ainda possibilidade de redução de custos caso a compatibilização seja eficiente, é de demasiada importância que na fase de projeto de um empreendimento, se realize o detalhamento completo de todos os projetos e conseqüentemente a compatibilização do projeto. Evitando perdas exponenciais que o esquecimento dessa etapa pode acarretar.

Figura 2– Representação Gráfica da Lei de Sitter, também conhecida como Lei dos 5



Fonte: < [http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/04/v-behaviorurldefaultvml\\_29.html](http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/04/v-behaviorurldefaultvml_29.html) > Acesso em 02 de maio de 2016

Assim cabe aos profissionais ter uma visão completa sobre etapas construtivas, ou seja, ter uma visão sistêmica sobre o projeto que pretendem executar. Segundo CHARLESSON (2009), graças a sua permanência a estrutura pode exercer grande funções nas edificações. Definindo, classificando e limitando as atividades internas de um edifício, portanto pode ter o objetivo de otimizar e para a perfeita integração da estrutura com os requisitos funcionais da edificação. Em estruturas de concreto armado, levando em conta os aspectos estéticos desse sistema estrutural, a utilização da estrutura pode ser feita como principal ferramenta arquitetônica. Uma vez que a plasticidade desse material permite criar-se formas mais orgânicas além de possibilitar estruturas diferenciadas artisticamente.

## 2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo entender como é a relação entre arquitetos e engenheiros no Brasil, e como o concreto armado como material estrutural permitiu que se obtivesse resultados inéditos para a arquitetura e engenharia mundial.

### 2.1 OBJETIVO GERAL

- Realizar uma breve retrospectiva histórica sobre o uso do concreto armado como material estrutural;
- Citar o trabalho de grandes nomes da engenharia e arquitetura nacional como Emílio Baumgart, Joaquim Cardozo, Oscar Niemeyer e João Filgueiras Lima, cujas as carreiras foram marcadas pelo uso de concreto como material estrutural assim como uma relação harmônica entre arquitetos e engenheiros;
- Abordar estudos de caso já feitos, de maneira qualitativa sobre o funcionamento de estruturas complexas quanto a distribuição de esforços, estudando assim a Catedral Metropolitana de Brasília e a Cúpula invertida do congresso Nacional;

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar diversos sistemas estruturais em concreto armado, com isso entendendo o funcionamento do mesmo e como o material estrutural utilizado serviu para otimizar as estruturas geradas;
- Realizar uma análise qualitativa, estética e funcional sobre o Pórtico da estrutura da Residência JSN;

### 3 ASPECTOS HISTÓRICOS SOBRE O CONCRETO

#### 3.1 Antiguidade Clássica

O primeiro material manipulado de forma intencional pelo homem foi a argila, criando uma pedra artificial rígida a partir de terra argilosa mole, moldável, fabricando assim utensílios domésticos. Com o aperfeiçoamento da técnica desenvolvida o homem foi capaz de manipular outros tipos de materiais como cal e gesso. (ISAIA, 2011)

Figura 3- Vaso feito com argila entre 3.000 a.C. e 1.100 a.C.



Fonte: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Arte\\_minoica](https://pt.wikipedia.org/wiki/Arte_minoica)> Acesso em 29 de maio de 2016

Existem relatos que entre os séculos IX e VII a.C. a utilização de cal como material de revestimento de paredes e pisos, assim como a sua mistura com pedras criando uma forma primitiva de concreto. (ISAIA, 2011) Assim pode ser observado que a ideia do concreto como material construtivo é mais antiga que a civilização grega ou mesmo a romana.

#### 3.2 O concreto na civilização grega

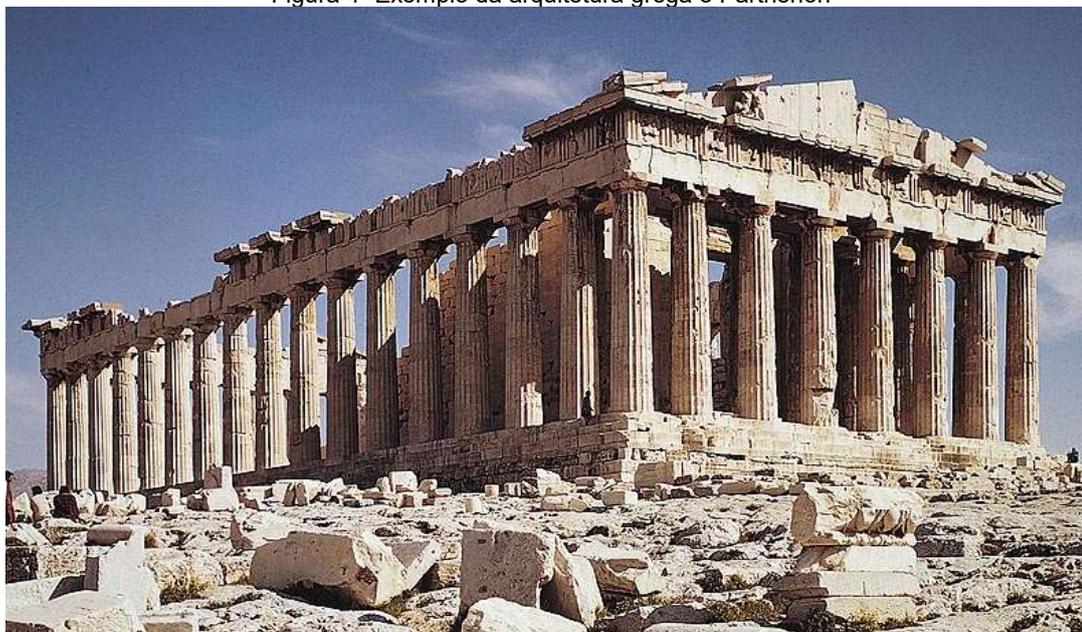
No começo do século V a.C. a cal hidráulica já era conhecida e utilizada para revestir fontes atenienses desse período, em obras de infraestrutura utilizavam-se materiais como terra vulcânica misturados a cal para a confecção de argamassa. A

argamassa obtida era misturada com agregado vulcânico, moldado em formas, sendo assim muito utilizado em construções de obras hidráulicas. (ISAIA, 2011)

“Estudos de laboratório elaborados por Kouli e Ftikos (1998) a partir de testemunhos extraídos de cisternas revelaram a surpreendente qualidade do concreto que apresenta até hoje, bom desempenho físico-mecânico, mostrando que os gregos, há três milênios, possuíam excelente conhecimento empírico sobre tecnologia do concreto. A reconstituição do traço revelou ser formado por seixo rolado, agregado calcário médio e fino, terra vulcânica e cal, mesclados em tal proporção que a curva granulométrica quase que se superpõe a curva ideal de Fuller, 27 séculos depois de sua proposição. Testemunhos obtidos do local mostram que a argamassa está fortemente aderida aos agregados graúdos, e esse concreto apresenta, hoje, resistência à compressão de 13,5 MPa” (ISAIA, 2011 pg. 3)

Os gregos utilizavam em suas construções um sistema estrutural de carga simplesmente apoiadas em vigas e pilares, executado com pedras de cantaria cortadas de modo preciso. Neste período os gregos ainda não tinham conhecimento da utilização do concreto como material estrutural. (ISAIA, 2011) Mas sua aplicação principalmente como argamassa junto a pedras resistentes, tornou suas obras viáveis, porém não se tinha a possibilidade de vencer grandes vãos uma vez que a resistência a tração dos materiais era limitada. Um bom exemplo da arquitetura grega é o Parthenon que pode ser visto na figura a seguir.

Figura 4- Exemplo da arquitetura grega o Parthenon



Fonte:

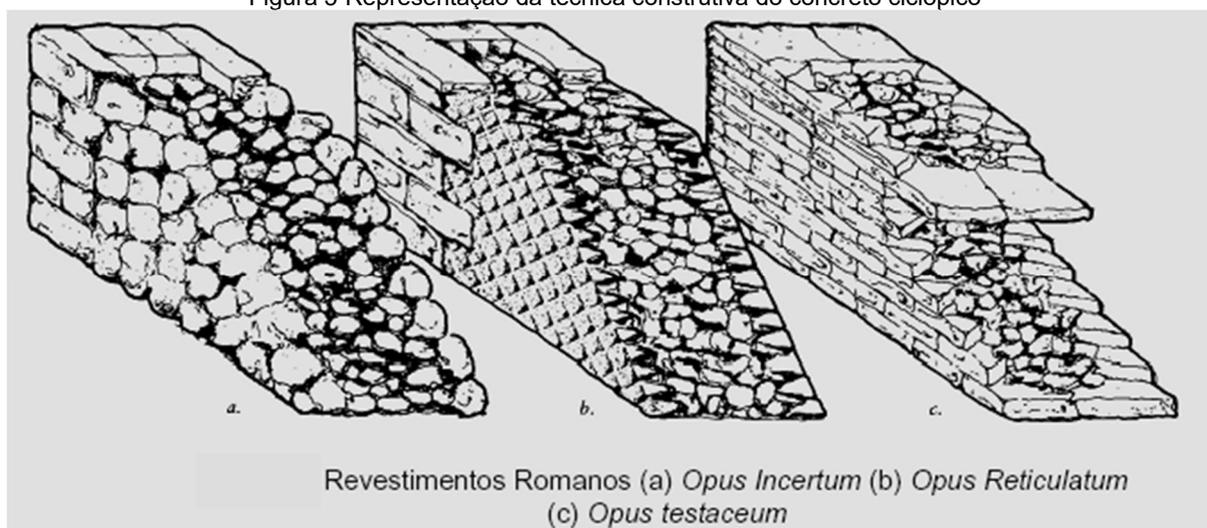
<[https://www.oneonta.edu/faculty/farberas/arth/Images/109images/greek\\_archaic\\_classical/parthenon/parthenon.jpg](https://www.oneonta.edu/faculty/farberas/arth/Images/109images/greek_archaic_classical/parthenon/parthenon.jpg)> Acesso em 29 de maio de 2016

### 3.3 O concreto na Civilização romana

Os romanos tinham uma mentalidade aberta e receptiva, copiavam e adaptavam para suas necessidades o que achavam útil dos povos conquistados, dessa maneira o conhecimento grego sobre edificações foi passado e aperfeiçoado. Os romanos criaram uma poderosa indústria da construção, com legislações específicas regulando vários aspectos das construções. Criaram regulamentações sobre controle de qualidade dos materiais utilizados, por exemplo existia a obrigatoriedade de marcas do fabricante de alvenaria para seu reconhecimento. Com isso foi possível padronizar e unificar técnicas construtivas no império. (CARVALHO, 2008)

O concreto romano foi o primeiro material a ser artificial a ser fabricado e empregado em construções de grande escala, motivou o avanço técnico inexistente para época. (YEGUL, 2011, apud ISAIA, 2011) Os romanos não utilizavam o sistema de formas de concreto como é visto hoje, eles fabricavam peças de construções em concreto, principalmente tijolos, e utilizavam ao máximo a boa capacidade de compressão dos materiais. Outra técnica também muito utilizada era preencher o interior de paredes (executavam o papel das formas) com pedras tijolos quebrados entre camadas de argamassa de cal, pozolana e areia, esta técnica hoje é conhecida como concreto ciclópico que pode ser observada na figura abaixo. (ISAIA, 2011)

Figura 5 Representação da técnica construtiva do concreto ciclópico



Fonte: <<http://cimento.org/wp-content/uploads/2013/09/revestimentos.png>> Acesso em 29 de maio de 2016

A contribuição romana para o desenvolvimento da arquitetura e engenharia foram enormes, revolucionou-se a ambientação e o aproveitamento dos espaços

internos a partir da utilização de arcos, abóbodas, cúpulas e paredes delgadas. A construção do Panteão de Roma é um exemplo da influência que os romanos tiveram sobre a construção civil. A mudança dos materiais utilizados durante a cúpula, primeiramente mármore e carvão, depois tijolos quebrados e depois pedra pome no topo, mostram um entendimento sobre o funcionamento do sistema construtivo de cúpula, aonde as maiores solicitações estão localizadas na base e vão diminuindo à medida que vai se aproximando do topo. O Pantheon inclusive deteve o recorde de maior livre construído por quase 18 séculos com seus 43 metros de vão. (ISAIA, 2011)

Figura 6- Pantheon visto de fora



Fonte: <<http://romeonsegway.com/wp-content/plugins/widgetkit/cache/gallery/738/Pantheon-day-rome-on-segway-26234d1acc.jpg>> Acesso em 29 de maio de 2016

“O cimento foi fundamental para a obtenção de um material impermeável, estanque, resistente e de fácil conformação que foi muito usado pelos romanos na construção de seus aquedutos, seus banhos e termas, suas estradas, enfim, em suas obras públicas. Em alguns casos, o cimento foi usado simplesmente como aglomerante para argamassas estanques, impermeáveis e, em outros casos para obtenção materiais resistentes ( o concreto), como é no caso dos alvéolos da cúpula do Pantheon.” (CARVALHO, 2008)

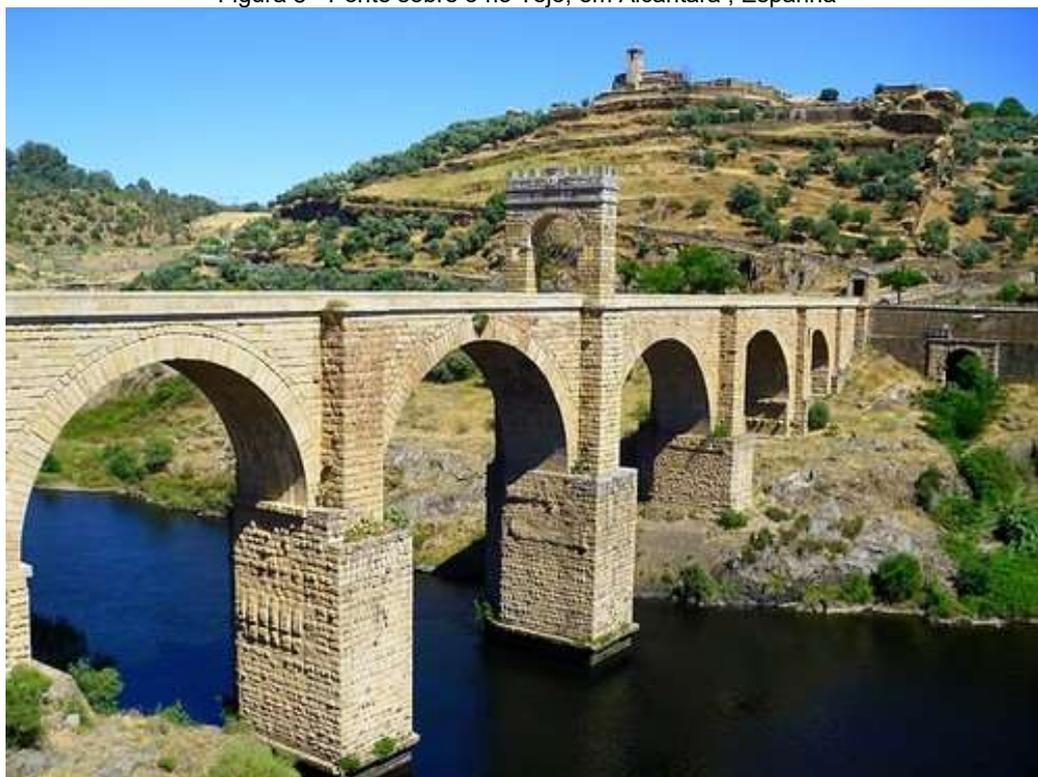
Figura 7- Vista interna da cúpula do Pantheon



Fonte: <<http://www.stendhalhotelrome.it/img/pantheon01.jpg>> Acesso em 29 de maio de 2016

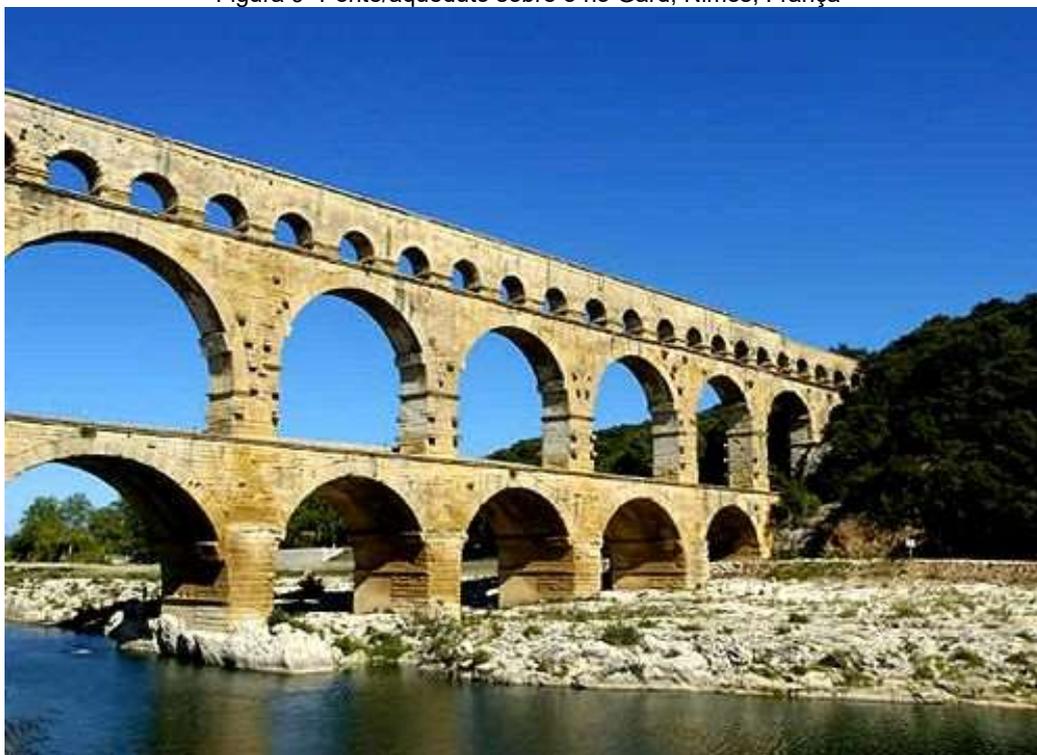
“O estado atual dessas construções mostra a integridade do concreto fabricado há mais de dois milênios” (ISAIA, 2011) Deve ser destacado a longevidade das construções romanas, obras como o Pantheon na Itália, ponte sobre o rio Tejo na Espanha e Ponte/aqueduto sobre o rio Gard na França que serão apresentadas a seguir, estão presente em ótimo estado até os dias atuais. As técnicas de execução, apesar de empíricas, e a qualidade dos materiais utilizados são pontos que possibilitaram tal feito.

Figura 8- Ponte sobre o rio Tejo, em Alcantara , Espanha



Fonte: < [http://c2.quickcachr.fotos.sapo.pt/i/b400480e6/6790272\\_1C0Gk.jpeg](http://c2.quickcachr.fotos.sapo.pt/i/b400480e6/6790272_1C0Gk.jpeg) > Acesso em 29 de maio de 2016

Figura 9- Ponte/aqueduto sobre o rio Gard, Nimes, França



Fonte: < [http://www.iengenharia.org.br/site/userfiles/pont\\_1.jpg](http://www.iengenharia.org.br/site/userfiles/pont_1.jpg) > Acesso em 29 de maio de 2016

### 3.4 O concreto na Idade Moderna

Após a queda do Império Romano (476 d. C.) sua cultura assim como suas tecnologias foram deixadas de lado até o renascimento (século XIII) aonde iniciou-se o processo de retomada de referências culturais da Antiguidade Clássica. A revolução científica é o marco do início da Idade Moderna. (ISAIA, 2011)

Galileo Galilei desenvolveu as bases da teoria da Engenharia das vigas, conseguiu demonstrar que uma viga em balanço romperia junto ao apoio quando o momento aplicado na sua extremidade fosse adicionado junto ao momento devido ao peso próprio da viga (cujo o aumento é proporcional ao quadrado do balanço) se iguala ao momento limite de fratura da seção transversal. (ISAIA, 2011)

Figura 10- Representação do ensaio de viga engastada executado por Galileo



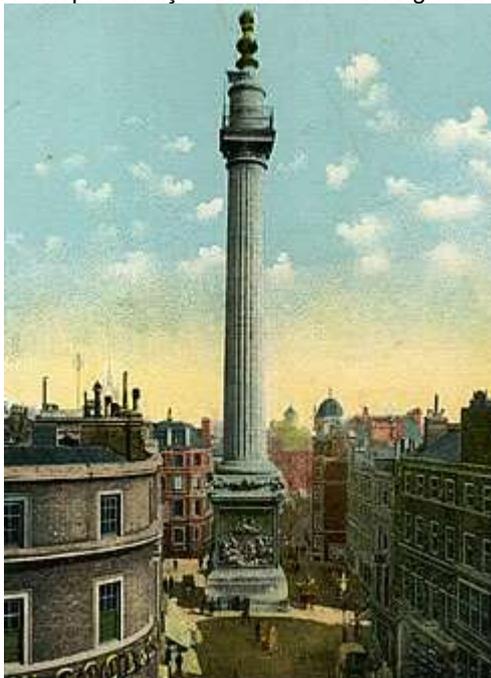
Fonte: <<http://www.comunitexto.com.br/site2/wp-content/uploads/2014/09/teorema-dos-trabalhos-virtuais.png>>  
Acesso em 30 de maio de 2016

Outro Grande avanço para a engenharia foi obtido por Robert Hooke que foi capaz de demonstrar que materiais como aço, madeira, pedra assim como outros materiais após serem tracionados e relaxados estavam sujeitos a retornarem ao estado inicial, formando o princípio de “ a força para restaurar a sua posição natural sempre é proporcional à distância a qual foram tracionados”. Hooke também demonstrou que as vigas tenderiam a voltar ao seu formato original após se tirar um carregamento e apresentou teoria com fórmulas matemáticas e mecânicas sobre o funcionamento do arco. (ISAIA, 2011)

Em 1666 ocorreu um grande incêndio na cidade de Londres, causando assim danos irreparáveis a cidade, Hooke foi indicado para supervisionar a reconstrução da cidade sendo o responsável por projetar 35 grandes estruturas, uma delas o

Monumento ao Grande Incêndio. Tal monumento é até hoje o conhecido como a coluna mais alta do mundo em pedra com seus incríveis 62m. (ISAIA, apud COLLINS, 2001) A ilustração abaixo representa o Monumento ao Grande Incêndio de Londres, que foi concluído em 1677, note o quanto o mesmo se sobressai em relação ao seu entorno.

Figura 11– Representação do Monumento ao grande Incêndio



Fonte: < <http://mapadelondres.org/wp-content/uploads/2011/08/monument1.jpg> > Acesso em 30 de maio de 2016

Deve se destacar que durante a Idade Moderna, construções em concreto tiveram pouco destaque, no entanto muitas das bases conceituais de cálculo estrutural utilizadas no período atual para dimensionamento de estruturas são desse período. A teoria da viga engastada, assim como as leis de Hooke são fundamentos básicos que qualquer projetista de estrutura deve dominar. Assim pode-se dizer que a maior contribuição do período para construções em concreto armado foram as especificações desses conceitos.

### **3.5 O Concreto na Idade Contemporânea**

Após a evolução conceitual da Idade Moderna, a busca por matérias capazes de suprir a necessidade para as edificações com maior durabilidade. O cimento Portland foi desenvolvido, e começaram a ter resultados satisfatórios com o mesmo,

entretanto seu uso ainda era muito limitado, era utilizado como argamassa. (ISAIA, 2011)

“O ano de 1849 é considerado como a data do descobrimento do concreto armado. Joseph Louis Lambot (1814 – 1887) um agricultor francês que construía tanques de cimento reforçado com ferros, construiu um barco usando o mesmo sistema e testou em lagoas de sua propriedade agrícola. Este Barco foi patenteado em 1855 e, no mesmo ano, foi apresentado na Feira Mundial de Paris. Observa-se, porém, que o tipo de concreto usado nesse barco, no início do século 20 passou a ser denominado ferro-cimento ou concreto armado, que no Brasil conhecemos como argamassa armada” (CARVALHO, 2008 pg. 26)

Figura 12- O barco fabricado por Lambot

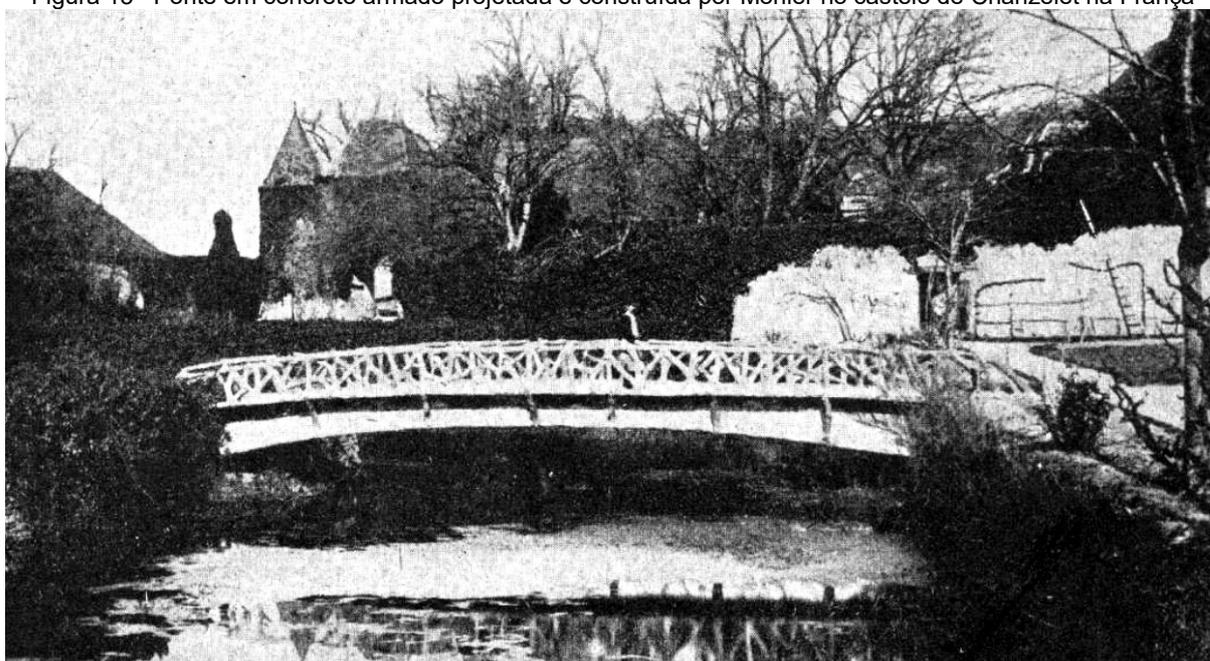


Fonte: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAH4sAE/historia-concreto> > Acesso em 30 de maio de 2016

O barco criado por Lambot, que segue em ótimo estado como pode ser visto na figura acima, demonstrou a incrível harmonia que o aço e o cimento tinham entre si. Ambas as matérias poderiam ser utilizadas de forma uma a complementar o outro, Lambot no entanto não conseguiu visualizar as possibilidades que havia criado. O responsável por conseguir explorar as possibilidades do concreto armado neste período foi Monier, cultivador de plantas, que gostaria que seus vasos tivessem mais durabilidade. Após o sucesso obtido nos vasos, Monier evoluiu suas experiências fabricando assim painéis de fachada de edifícios, vigas, tubos e pequenas pontes armadas. (ISAIA 2011)

“A Grande importância de Monier foi entender as características, as vantagens e desvantagens dos materiais e combina-los adequadamente, aproveitando as melhores características de cada material. Monier percebeu que o concreto era facilmente obtido e moldado, e tinha considerável resistência a compressão e ao esmagamento, porém apresentava deficiências em relação ao cisalhamento e à tração; por outro lado o aço era extremamente resistente à tração e era facilmente encontrado em formas simples como barras longas. Dessa forma, a grande colaboração de Monier ao concreto armado foi, mesmo que de forma empírica e intuitiva, dispor de armaduras corretamente de forma que seus elementos de concreto armado tivessem resistência à compressão, à tração e ao cisalhamento.” (CARVALHO, 2008 pg. 27)

Figura 13– Ponte em concreto armado projetada e construída por Monier no castelo de Chanzelet na França



Fonte: < [http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/monier/monier\\_parte6.pdf](http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/monier/monier_parte6.pdf) > Acesso em 30 de maio de 2016

No ano de 1873 o americano W. E. Ward constrói em Nova York uma casa de concreto arma conhecida como Ward's Castle, essa casa ainda conserva o bom estado como pode ser visto na figura a seguir. (CARVALHO, 2013)

Figura 14– Ward's Castle



Fonte: < <http://theworldaccordingtogayle.com/?p=183> > acesso em 31 de maio de 2016

Destaca-se que até esse momento a utilização da armadura contida na estrutura era feita somente feita de maneira passiva, que será visto mais a frente neste capítulo. Na cidade de Berlim em 1888 Dohring cria a primeira patente sobre a possibilidade de se aumentar a resistência da peça a partir da pretensão provocada deliberadamente. (CARVALHO, 2013)

A Alemanha teve uma contribuição enorme para a disseminação do concreto armado, em 1900 Koenen inicia o desenvolvimento da teoria sobre concreto armado, Morsch aprofunda a teoria criada por Koenen por meio de ensaios. E em 1904 é publicado na Alemanha a primeira recomendação sobre estruturas de concreto, as “Instruções provisórias para preparação, execução e ensaio de construções de concreto armado”. (CARVALHO, 2013)

## **4 CONCRETO ARMADO SISTEMA CONSTRUTIVO**

### **4.1 Normas relativa ao uso de concreto armado**

O Objetivo das normas é de padronizar e tornar o mais uniforme um procedimento, assim melhorando a fiscalização sobre procedimentos de projeto, controle de materiais e execução assim estabelecendo padrões aceitáveis de segurança, funcionalidade e durabilidade. (CLÍMACO, 2013)

As normas mais importantes para estruturas de concreto segundo Roberto Chust Carvalho em Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de Concreto Armado são:

- NBR 6118: 2014: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento;
- NBR 6120: 2000: Cargas para cálculo de estruturas de edificações – Procedimento;
- NBR 8681: 2004: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento;
- NBR 14931: 2004: execução de estruturas de concreto – Procedimento;

### **4.2 Concreto de armadura passiva**

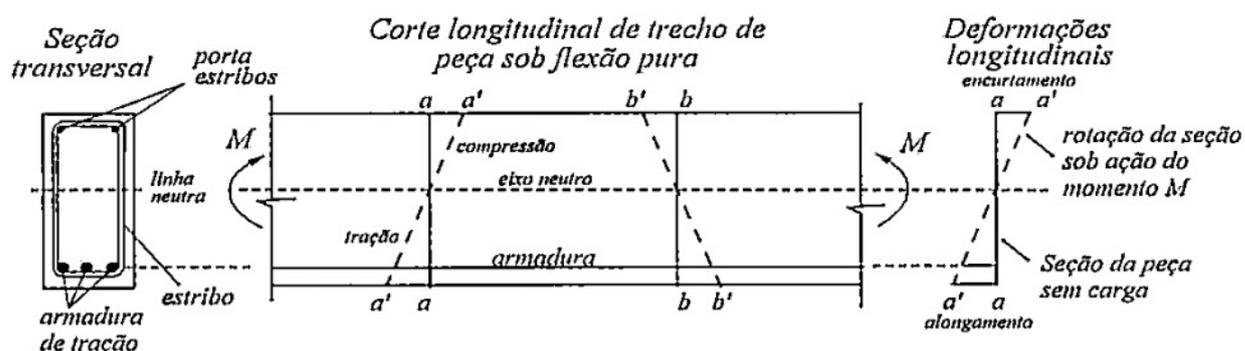
O concreto armado de armadura passiva é constituído pela associação de forma simples entre concreto e armadura, onde ambos os materiais resistem em conjunto ao esforço o qual estão solicitados, nesse tipo de arranjo as armaduras em peças de concreto só trabalham caso exista uma solicitação. (CLÍMACO, 2013)

A aderência entre concreto e o aço é indispensável nesse tipo de arranjo, a resistência que o concreto armado tem é atribuída graças ao fato de não haver deslizamento, escorregamento relativo ou deslocamento entre os materiais a medida que a peça está sendo solicitada. Assim esse conjunto deve agir como uma peça monolítica, em conjunto, para que esse comportamento seja garantido é indispensável a aderência de maneira eficiente entre os materiais. Conclui-se que a aderência é a propriedade que garante o cumprimento das leis básicas que regem sistemas estruturais elásticos. (CLÍMACO, 2013)

A figura a seguir representa uma viga submetida a flexão pura, sendo o momento fletor  $M$  igual nas duas extremidades, a armadura longitudinal inferior é

tracionada. Neste caso não existe necessidade de armadura superior, uma vez que o concreto que resiste aos esforços de compressão, porém em caso de projeto se utiliza uma armadura mínima, que está localizada na parte superior da viga. Os estribos representam a armadura transversal, servem para resistir as tensões de cisalhamento e manter as barras na posição correta durante a concretagem da peça.

Figura 15- Seção transversal de uma viga e forma como a mesma trabalha



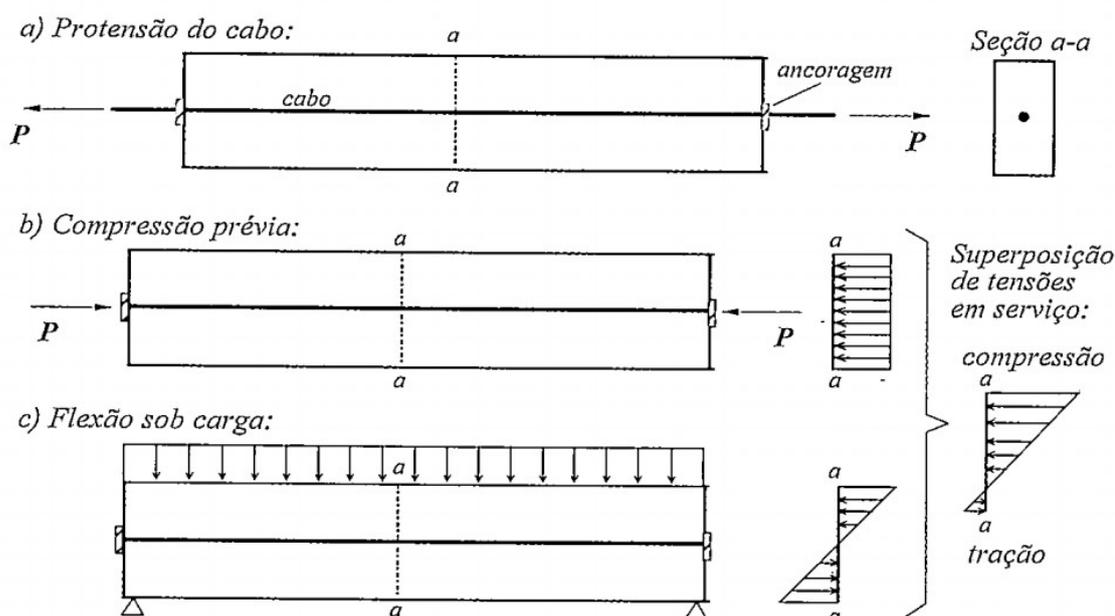
Fonte: CLÍMACO 2013, pg. 37

### 4.3 Concreto de armadura ativa

O concreto de armadura ativa é um material estrutural composto também pela associação de concreto e aço, porém neste caso o comportamento dessa interação é diferente. A armadura definida como ativa resiste de maneira solidária aos esforços ao qual a peça está submetida. (CLÍMACO, 2013)

O concreto protendido a armadura é construída por cabos ou cordoalhas, a qual é submetida a uma força de tração aplicada por meio de macacos hidráulicos, antes de se aplicar o carregamento previsto. Retira-se os macacos, estando a cordoalha firmemente ligada ao sistema de ancoragem, serão induzidas tensões de compressão sobre a peça antes de a mesma receber as cargas revistas. Assim armadura é definida como ativa pois a mesma reduz, podendo chegar até a eliminar, as tensões de tração que serão produzidas no concreto quando for aplicado o carregamento definitivo. (CLÍMACO, 2013)

Figura 16- Efeito de protensão sobre uma viga retangular



Fonte: CLÍMACO 2013

A imagem anterior representa o funcionamento de uma viga seção retangular sujeita a compressão de um cabo axial, apesar de o cabo estar sendo retratado no centro da viga, sua locação mais eficiente seria na extremidade inferior. Sobre o comportamento de estruturas protendidas é interessante destacar a relocação de esforços, as tensões que vigas protendidas descarregam sobre os pilares são maiores em relação a viga de armadura passiva, com isso zonas próximas aos pilares representam zonas de tensão. Em estruturas protendidas necessita-se de realizar a armação passiva, uma vez que essas são indispensáveis para se garantir uma resistência mínima à estrutura. Tornando a distribuição de esforços mais uniformes, tal armação é principalmente necessária em zonas de tensão, como a zona de ancoragem. (CLÍMACO, 2013)

#### 4.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE CONCRETO ARMADO

Como todo sistema construtivo, o emprego do concreto armado tem seus benefícios e suas dificuldades. Esses fatores devem ser estudados com cautela antes de se tomar a decisão de utilizar o mesmo, para assim se obter o aproveitamento máximo do material.

Clímaco et al, destacam como principais benefícios da aplicação de concreto armado:

- Apresenta boa resistência a compressão, a mesma é crescente com a idade;
- É um material com boa trabalhabilidade, capaz de se adaptar com eficiência a vários tipos de formas, abrindo enormes possibilidades e dando mais liberdade para a concepção arquitetônica;
- Existe a possibilidade de utilização de aditivos, melhorando ainda mais a trabalhabilidade na execução, possibilitando inclusive o bombeamento do material;
- A estrutura obtida pela aplicação do material é monolítica, ou seja, existe uma maior facilidade na transmissão dos esforços;
- As técnicas construtivas são razoavelmente dominadas no país assim como uma facilidade maior na obtenção das matérias, a maioria das cidades cujo porte é médio ou grande tem fábricas de cimento em sua proximidade;
- Tem custos de manutenção considerados baixos, quando atendidos os requisitos das normas técnicas pertinentes, no entanto não se deve deixar de lado a manutenção preventiva;
- O material tem uma boa resistência a choques, vibrações e desgastes mecânicos;
- Existe a possibilidade de utilização do sistema pré-moldado, assim tornando o mesmo mais econômico e ágil;
- É o sistema construtivo com mais durabilidade e resistência ao fogo, desde que o cobrimento da armadura e a qualidade do concreto estejam de acordo com as condições do meio em que a estrutura esta inserida;
- A estrutura pode ser utilizada para condução de corrente até o aterramento em caso de descargas elétricas (SPDA estrutural);

As principais dificuldades encontradas na aplicação de estrutura de concreto armado segundo Clímaco et al são:

- O peso próprio deste sistema é elevado (massa específica de 2.500 kg/m<sup>3</sup>). Apesar de existir a opção de um concreto mais leve, com alteração da brita por outros agregados mais leves, o mesmo tem seu custo bastante elevado, e o concreto resistente é mais poroso assim comprometendo a durabilidade da estrutura;
- O concreto tem baixa resistência a compressão, assim caso a mesma seja solicitada deve-se aumentar quantidade de aço da estrutura, elevando o custo;
- Existe uma dificuldade em adaptações posteriores na estrutura, assim alterações significativas necessitam revisão de projeto, podendo muitas vezes levar a necessidade de um reforço estrutural;
- A estrutura obtida é um bom condutor de calor e som, podendo necessitar em casos específicos a necessidade de sua associação com outros materiais para sanar este problema;
- Existe a necessidade de utilização do sistema de formas e escoramento, os mesmos devem permanecer no local até o concreto adquirir uma resistência adequado, tomando tempo e mão de obra para sua execução;
- A agressividade ambiental do meio aonde o mesmo está inserido, é um fator determinante da espessura da camada de concreto de cobrimento de proteção das armaduras, infelizmente a verificação do mesmo é de extremo trabalho podendo ser notada somente quando o processo de corrosão está avançado;
- Caso ocorra a utilização de aditivos, necessita de se estudar se o mesmo influencia na interação do concreto com o ambiente;

A escolha do sistema construtivo cabe ao arquiteto e engenheiro, os mesmos devem ter conhecimento das situações citadas. A escolha é feita a partir da avaliação detalhada dos objetivos da edificação além de fatores estéticos, econômicos (durabilidade e disponibilidade) e de resistência que se pretende obter. Destaca-se que a utilização de concreto armado possibilita inúmeras possibilidades ao arquiteto, conferindo mais expressividade e beleza às obras, enquanto que o mesmo é um

sistema eficiente para que os engenheiros possam dar forma aos traços e ideais do arquiteto, por isso a relação harmônica é tão crucial.

## 5 CONCRETO ARMADO NO BRASIL

A primeira referência sobre Concreto Armado no Brasil é de 1904. Antônio de Paula Freitas, professor da Escola Politécnica do Rio de Janeiro, publica um trabalho no qual explica como foi feita a execução de seis prédios e um reservatório, todos em concreto armado, na cidade de Petropolis. (MARCOLIN, 2006 apud CARVALHO)

A disseminação do concreto armado no Brasil deu-se somente com Lambert Riedlinger, engenheiro alemão que trouxe a tecnologia da Europa, fundando em 1912 a Cia. Construtora de Cimento Armado, no futuro tornando-se Cia. Construtora Nacional, empresa onde Emílio Baumgart inicia a sua formação. (ISAIA, 2011)

### 5.1 Engenheiros

A escolha de sistemas estruturais, formas de otimizar e concretizar projetos é possível somente com uma boa relação entre projeto arquitetônico e projeto estrutural. Para que isso se torne possível é de demasiada importância que essa harmonia leve em conta a técnica construtiva e os materiais adotados. No Brasil utilizou-se e ainda se utiliza como principal técnica executiva o concreto armado. Tal escolha é somente possível graças a grandes nomes do passado que possibilitaram esse enraizamento. Tudo graças a harmonia entre arquitetura e estrutura.

“A estrutura é uma necessidade da Arquitetura. Sem estrutura, não existe Arquitetura. Através do projeto estrutural, as cargas gravitacionais, as forças externas as tensões internas são mantidas sob controle e canalizadas ao longo de trajetórias previstas, a intenção é mantê-los num sistema de ação e reação interdependentes de o equilíbrio a cada componente individual, assim com o sistema estrutural como um todo. A partir do projeto estrutural essas forças são impedidas de atingir uma concentração destrutiva e são mantidas sob controle. O projeto estrutural é estratégico, é planejamento intelectual de um sistema dinâmico que luta com a multiplicidade de forças. De fato, o projetista quando está desenvolvendo um sistema estrutural encontra-se no papel de um comandante de campo, que precisa enfrentar diversas forças inimigas e maquinar um plano estratégico para controlá-las. O modo como ele luta com as forças adversárias – quão racional é o entrosamento da matéria, quão engenhoso é o esquema e quão longe vão as consequências finais- distingue o planejador medíocre do genial, seja ele uma corporação militar ou do tipo técnico” (Estruturas: uma abordagem arquitetônica / Daíçon Maciel da Silva, André Kraemer Souto. 2ª edição 2000 pg. 26 e 27)

A partir desses conceitos, vale ressaltar na História do cálculo estrutural alguns engenheiros cuja contribuição marcou a engenharia brasileira e fez com que a mesma chegasse ao patamar que hoje ocupa. Quebrando barreiras e tornando os

traços ousados dos arquitetos obras reais, destaca-se Emilio Baumgart como precursor de utilização do concreto armado como material estrutural, e pode-se atribuir a Joaquim Cardozo como engenheiro que explorou de maneira mais ousada as formas. Segue um breve Histórico dos profissionais citados.

Como o Concreto armado é um material muito utilizado no Brasil, com isso deve-se citar a contribuição de alguns calculistas que não serão abordados neste trabalho. Bruno Contarini, José Carlos Sussekind e João Carlos Teatini de Souza Clímaco contribuíram de forma marcante para a disseminação e utilização do Concreto armado.

### 5.1.1 Emilio Baumgart

Figura 17– Foto de Emílio Baumgart, pai do concreto armado brasileiro



Fonte: :<<https://www.geni.com/people/Em%C3%ADlio-Henrique-Baumgart/6000000009534724705>> acesso em 02 de maio de 2016

Emilio Baumgart, nascido no dia 25 de junho de 1889, foi um engenheiro fora do padrão. Aos 21 anos concluiu sua primeira graduação com bacharel em Ciências e Letras, mudou-se para o Rio de Janeiro onde na escola Politécnica iniciou seus estudos em engenharia. Seu conjunto de graduações foi de extrema importância no desenvolver de sua carreira, uma vez que exemplifica o quanto o mesmo era um engenheiro diferenciado, apreciador das belas artes e com visão fora do comum.

Os primeiros projetos em concreto armado calculados por Baumgart foram a ponte Mauricio Nassau em Recife e a ponte Areal no Rio de Janeiro, ambos quando o mesmo ainda era estudante. (FONSECA, 2016)

Figura 18– Ponte Maurício Nassau, uma das primeiras obras de arte calculada por Baumgart



Fonte: < [http://mlb-s2-p.mlstatic.com/recife-ponte-mauricio-de-nassau-bondes-916211-MLB20521490489\\_122015-F.jpg](http://mlb-s2-p.mlstatic.com/recife-ponte-mauricio-de-nassau-bondes-916211-MLB20521490489_122015-F.jpg)> Acesso em 02 de maio de 2016

“Após formado mais precisamente no ano de 1923, Emilio Baumgart funda a sua própria firma construtora. A iniciativa comercial de Baumgart residia em uma tentativa de uma maior aceitação por obras de concreto armado; na verdade, naquele momento, apesar do notório conhecimento do engenheiro na utilização desse novo material construtivo poucos queriam aceitar o concreto armado em construções de grande escala.” (FONSECA,2016)

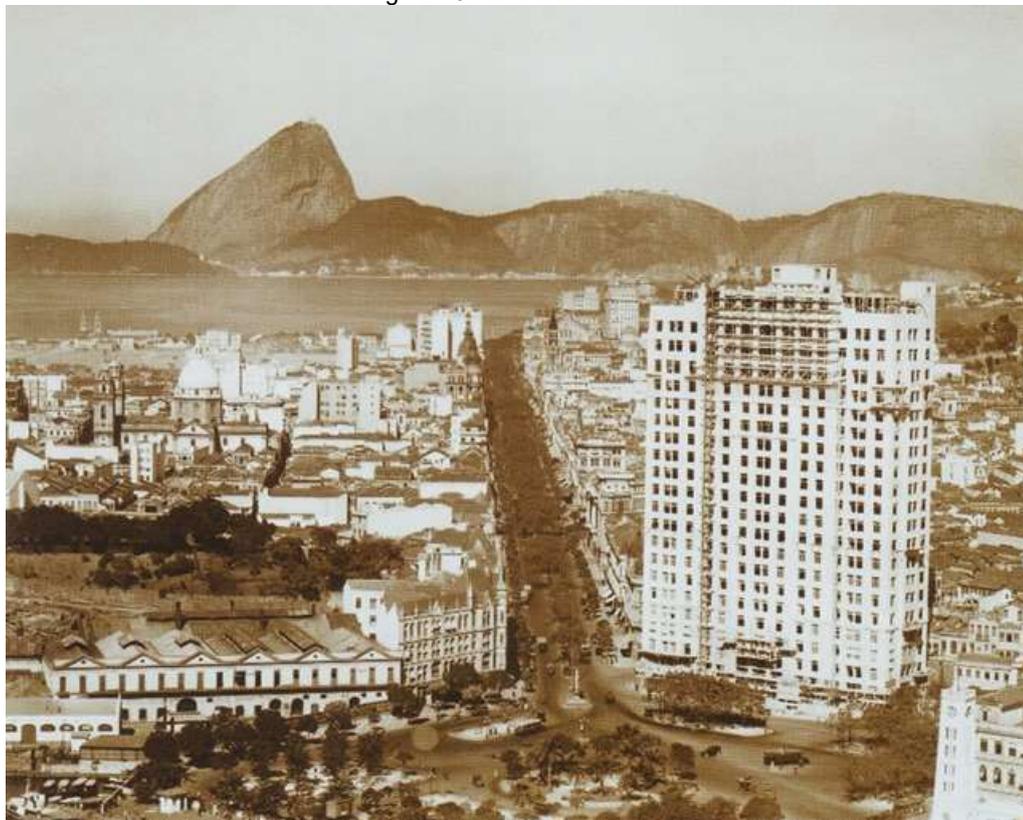
Vale ressaltar a imensa vontade com que Baumgart tentou iniciar a disseminação de técnicas em concreto, no entanto não havia estímulos para o mesmo, com isso a sua construtora foi fechada dois anos após a abertura. Após o fracasso na construtora, Baumgart recomeçou abrindo um escritório para cálculo estrutural utilizando Concreto Armado o Escriitorio Technico Emílio H. Baumgart foi o primeiro escritório especializado em concreto armado do Brasil.

“O ofício de cálculo estrutural realizado por Baumgart era galgado na parceria entre os agentes e seu procedimento de cálculo respeitava o design arquitetônico além de buscar formas estruturais que dialogassem diretamente com os desejos dos modernos, essa postura de sinergia e respeito mútuo entre engenheiro e arquiteto permitiu o florescimento de uma escola brasileira do concreto armado onde a raiz disciplinar foi Baumgart. Em suma, podemos afirmar que a existência de uma escola brasileira do concreto armado galgada em qualidades técnicas que respeitam as possibilidades estéticas de nossa arquitetura foram reflexo das atitudes encabeçadas por Baumgart.” (FONSECA, 2016)

Em 1929 Baumgart foi o responsável pelo cálculo estrutural pelo edifício A Noite, um prédio de 102 metros de altura e 22 andares. O mesmo foi considerado durante 5 anos o maior edifício da América do Sul. Segundo FONSECA graças aos

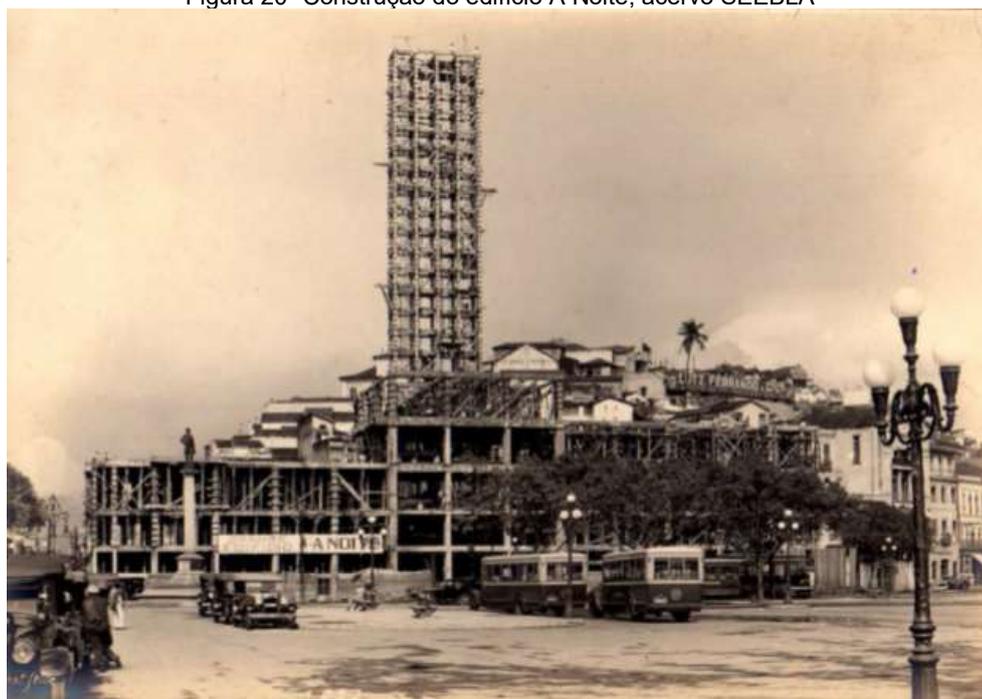
desafios criados pela força do vento Baumgart acabou criando o primeiro edifício com Núcleo Rígido.

Figura 19– Edifício A Noite



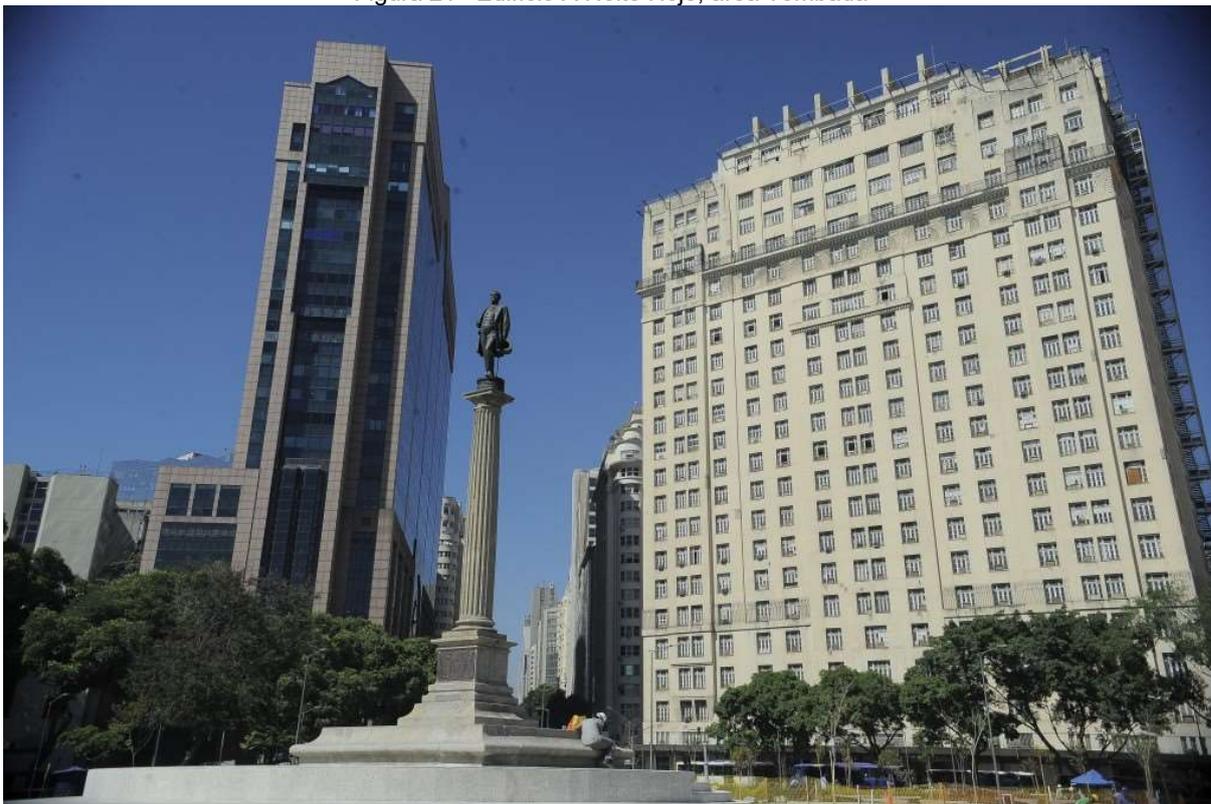
Fonte: < <http://diariodorio.com/histria-do-edificio-a-noite/> > Acesso 02 de maio de 2016

Figura 20- Construção do edifício A Noite, acervo SEEBLA



Fonte: SEEBLA

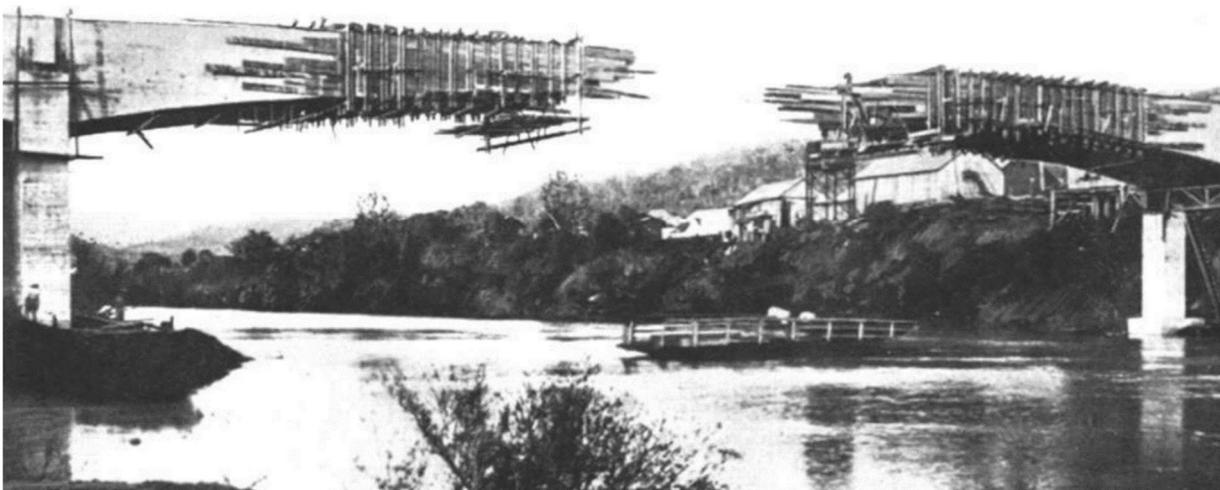
Figura 21– Edifício A Noite Hoje, área Tombada



Fonte: <<http://revistavisoessurbanas.com.br/2015/08/31/edificio-a-noite-no-centro-do-rio-e-tombado-pelo-iphan/>> Acesso em 02 de maio de 2016

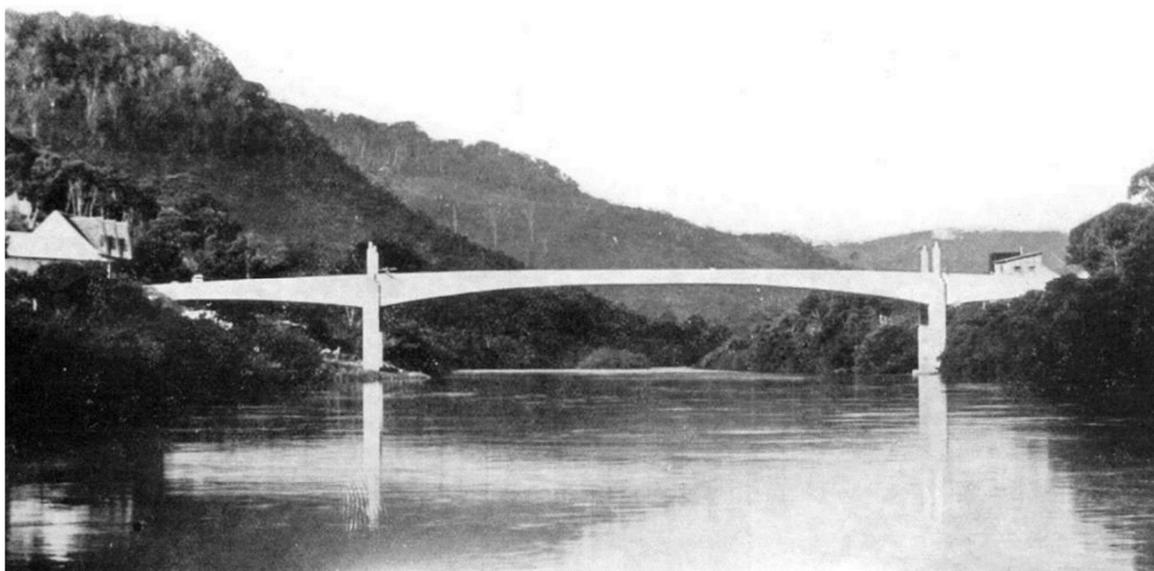
Devido a sua grande importância para o desenvolvimento do cálculo estrutural em concreto armado. Devemos ressaltar o esforço de Baumgart, Segue a imagem de alguns outros projetos do mesmo:

Figura 22 – Ponte do Herval Santa Catarina, em processo construtivo e acabada



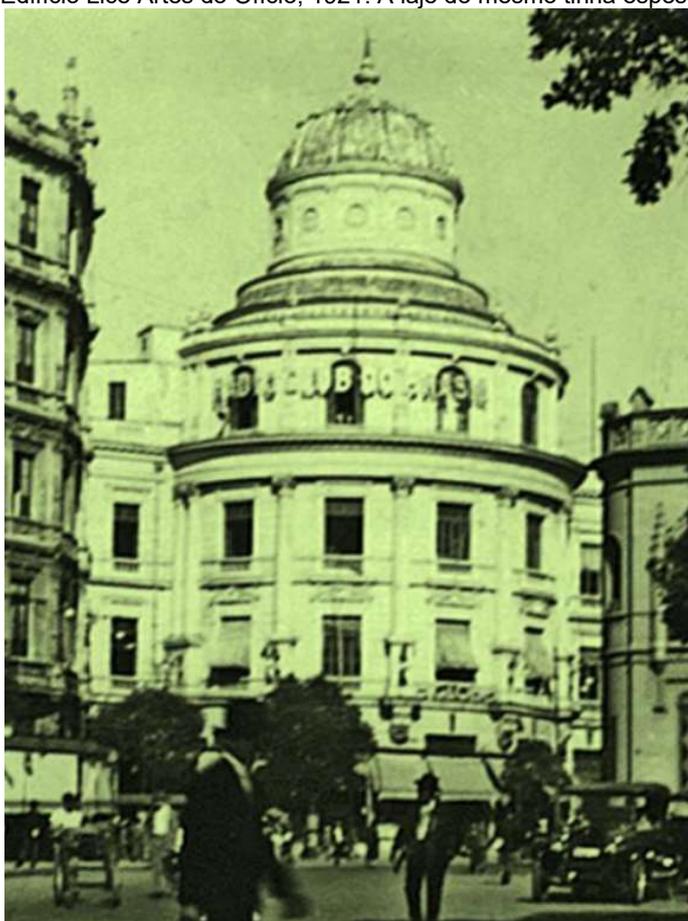
Fonte: < <http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/baumgart/baumgart01.pdf> > Acesso em 02 de maio de 2016

Figura 23– Ponte do Herval Santa Catarina



Fonte: < <http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/baumgart/baumgart01.pdf>> Acesso em 02 de maio de 2016

Figura 24- Fachada Edifício Lice Artes do Ofício, 1921. A laje do mesmo tinha espessura de somente 6cm



Fonte: < [https://www.flickr.com/photos/carioca\\_da\\_gema/49239364/in/photostream/](https://www.flickr.com/photos/carioca_da_gema/49239364/in/photostream/)> Acesso em: 02 de maio de 2016

### 5.1.2 Joaquim Cardozo

Joaquim Cardozo foi um homem de várias habilidades, não somente um engenheiro calculista capaz de deixar um grande legado, o mesmo explorou diversas áreas do conhecimento humano. Tornou-se poeta, escritor, caricaturista, topógrafo, professor, teórico de arquitetura e calculista. Apesar de não ser tão famoso quanto Oscar Niemeyer, foi o principal engenheiro procurado pelo mesmo, o responsável por tornar os traços do arquiteto grandes obras de escultura cuja a apreciação marcou Brasília (DF), Belo Horizonte (MG), Diamantina (MG), Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo.

Figura 25- Joaquim Cardozo (1897 – 1978)



Fonte: < <http://espiritodegeometria.blogspot.com.br/2011/01/o-poeta-que-calculava.html> > Acesso em 02 de maio de 2016

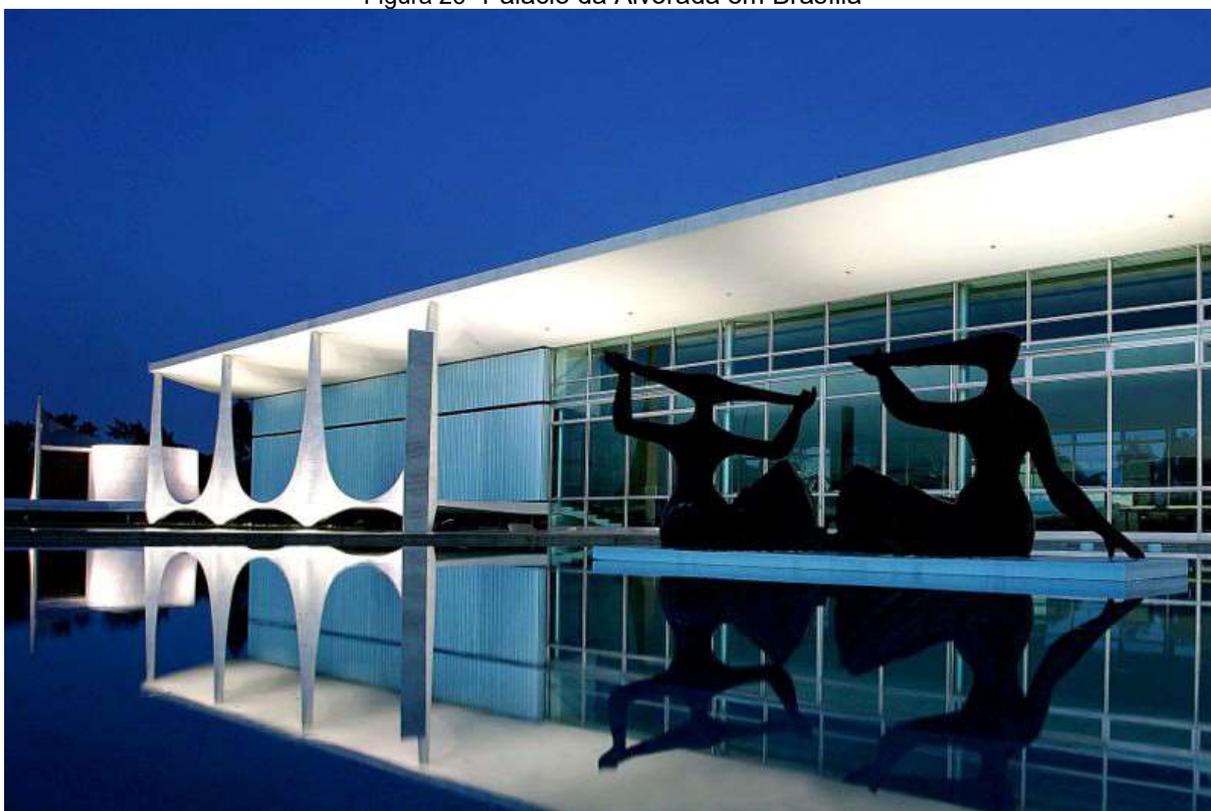
Seus maiores desafios foram concretizados em Brasília, aonde os traços ousados de Niemeyer tomaram formas que até aquele momento nunca haviam sido vistas, explorando assim novas combinações e variações dos sistemas estruturais. Pode-se dizer que a Parceria entre Cardozo e Niemeyer fez com que ambos profissionais se desenvolvessem ao máximo. A ousadia de ambos foi um marco para a construção de concreto armado mundial e um dos maiores legados que a engenharia brasileira deixou. (INOJOSA, 2010)

“Os projetos de Brasília trouxeram desafios e exigiram que Joaquim Cardozo trabalhasse, quase que ao mesmo tempo, com problemas e soluções estruturais inovadoras. Como os “verdadeiros arcobotantes, não mais como

abóbodas, mas escorando-se entre si” da Catedral, ou “uma casca limitada pela superfície de uma zona de elipsoide de revolução, abaixo do equador” da cúpula da Câmara dos Deputados” (Cardozo, sd.). Já nos outros palácios, os desafios eram os reduzidos pontos de apoio das colunas e a esbeltes dos perfis e das grandes e finas lajes desenhadas por Niemeyer. Joaquim Cardozo é responsável por uma verdadeira revolução técnica na engenharia brasileira, estimulado e inspirado pelos projetos de grandes arquitetos com quem trabalhou durante toda sua carreira.” (INOJOSA e BUZAR)

Algumas estruturas calculadas por Joaquim Cardozo podem ser vistas a seguir, destaca-se a criatividade com que o mesmo utilizou da combinação de diversos sistemas estruturais, tornando assim vários de seus projetos verdadeiras obras de arte da engenharia estrutural com concreto armado.

Figura 26- Palácio da Alvorada em Brasília



Fonte: < [https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Palacio\\_Alvorada\\_commons.jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Palacio_Alvorada_commons.jpg) > Acesso em 16 de junho de 2016

Figura 27- Palácio do Planalto em Brasília



Fonte: < <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Palacioplanalto.jpg> > Acesso em 16 de junho de 2016

Figura 28- Maracanãzinho no Rio de Janeiro



Fonte: < <http://www.tudomiudo.com.br/wp-content/uploads/2013/11/maracanazinho.jpg> > Acesso em 16 de junho de 2016

## 5.2 Arquiteto

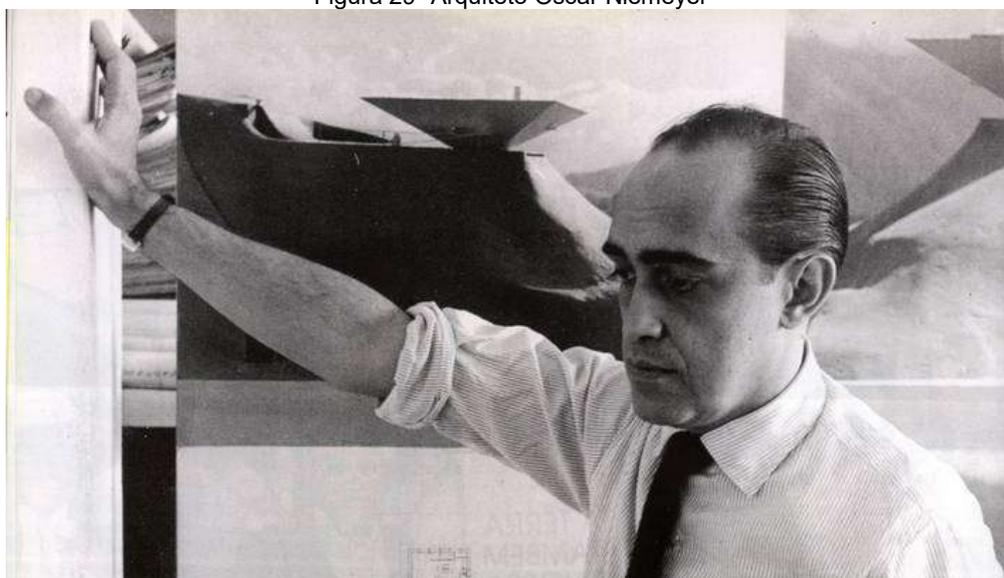
“Pode haver estrutura sem arquitetura, como em qualquer máquina, mas não existe arquitetura sem estrutura” (SALVADORI, 2006). Ou seja, cabe ao arquiteto a capacidade de criar, gerir novos sistemas. Assim cabendo ao engenheiro buscar racionalizar o mesmo, tornando-o viável.

Tendo em vista que o arquiteto é o idealizador do projeto, sua participação para a disseminação do concreto armado na estrutura é tão importante como a dos demais profissionais. A possibilidade das curvas, os traçados naturais, tudo isso foi obtido a partir da criatividade deste criador. Neste trabalho será feito um breve histórico sobre Oscar Niemeyer e João Filgueiras Lima e a contribuição de ambos para a arquitetura nacional utilizando sistemas estruturais em concreto armado.

### 5.2.1 Oscar Niemeyer

O arquiteto Oscar Niemeyer, nasceu no Rio de Janeiro em 1907, considerado uma das figura-chave para o desenvolvimento da arquitetura moderna, destacou-se ao dar forma a nova capital. Estudante da Escola Nacional de Belas Artes (UFRJ), estagiou no escritório aonde Lúcio Costa trabalhava, iniciado assim a parceria entre os dois profissionais. Seu primeiro grande trabalho individual foram os Edifícios na Pampulha em Belo Horizonte.

Figura 29- Arquiteto Oscar Niemeyer



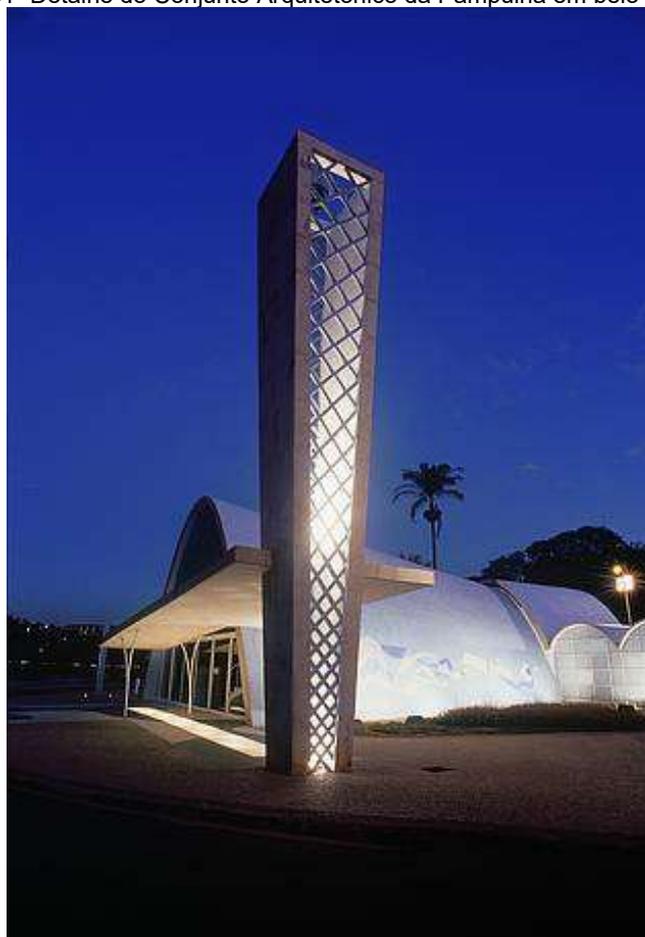
Fonte: <<http://acertodecontas.blog.br/atualidades/osnicar-niemeyer/>> Acesso em 19 de junho de 2016

Figura 30- Igreja São Francisco de Assis, Pampulha



Fonte: < [https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Igreja\\_Pampulha.jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Igreja_Pampulha.jpg) > Acesso em 16 de junho de 2016

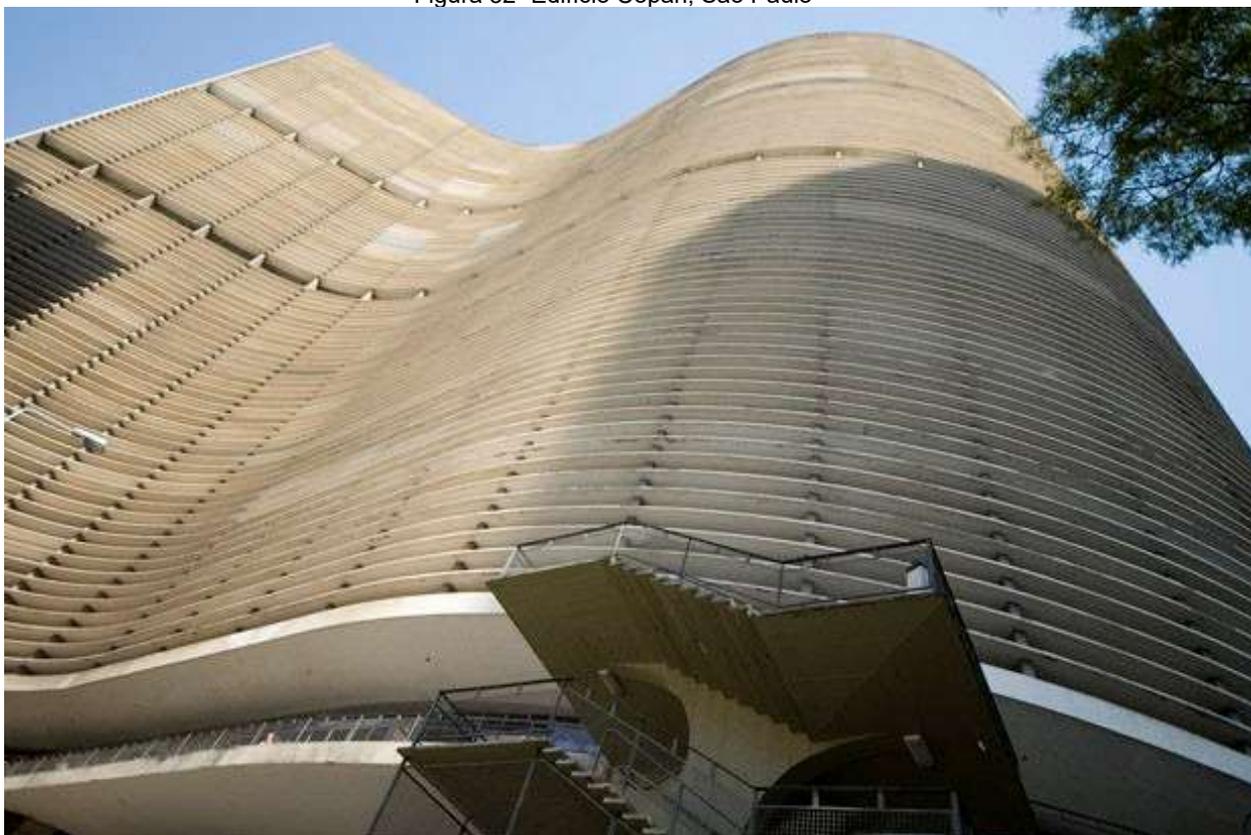
Figura 31- Detalhe do Conjunto Arquitetônico da Pampulha em Belo Horizonte



Fonte: < <http://www.feriasbrasil.com.br/mg/belohorizonte/conjuntoarquiteticodapampulha.cfm> > Acesso em 19 de junho de 2016

No ano de 1956 Niemeyer foi convidado pelo presidente Juscelino Kubitschek para projetar prédios públicos do Distrito Federal. Projetando e concluindo antes de 1960, O Congresso Nacional, o Palácio da Alvorada, o Palácio do Planalto, o Supremo Tribunal Federal assim como a Catedral. Utilizando muito o concreto armado como material construtivo, tornou-se um “escultor de monumentos” um artista do concreto armado, e Brasília seu grande palco. A seguir serão expostos outros projetos de Niemeyer uma vez que sua contribuição em Brasília é retratada mais detalhadamente nos estudos de caso.

Figura 32- Edifício Copan, São Paulo



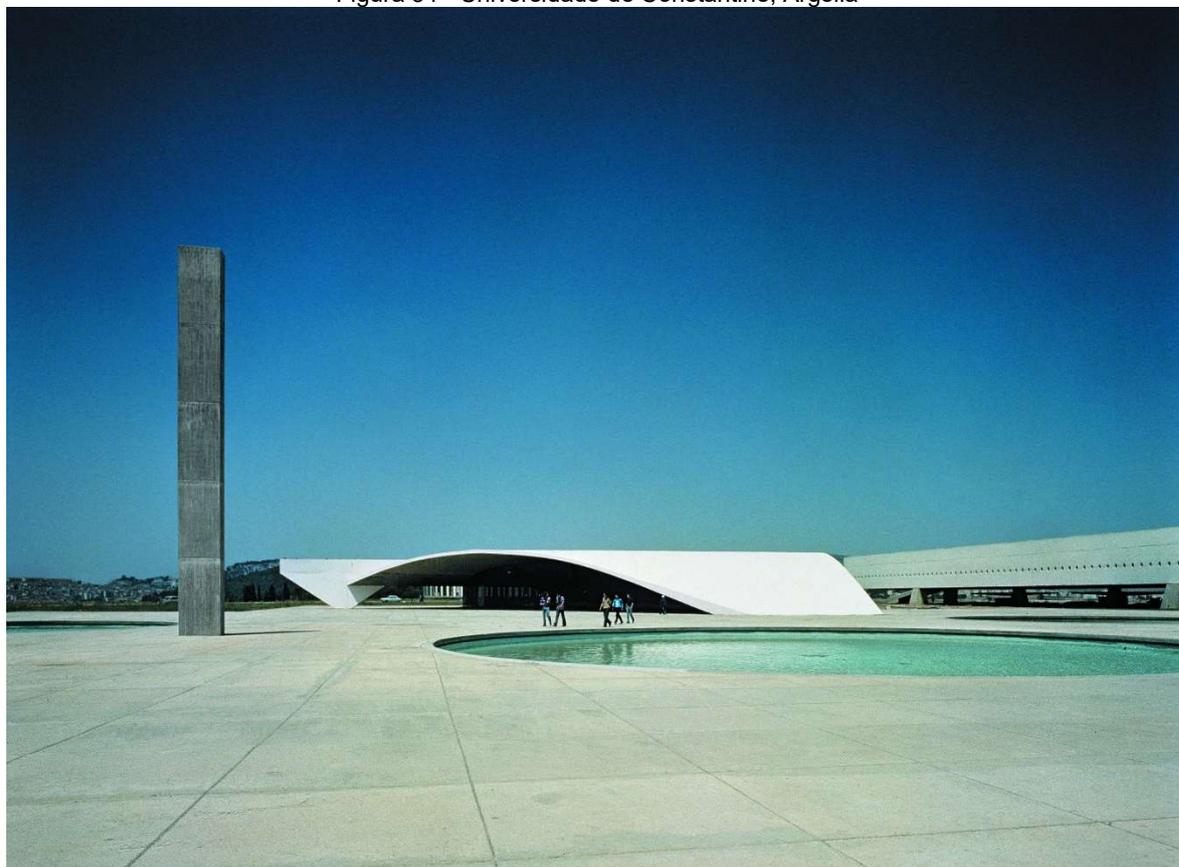
Fonte: < <http://casavogue.globo.com/Arquitetura/noticia/2012/12/oscar-niemeyer-15-maiores-obras.html> > Acesso em 19 de junho de 2016

Figura 33- Casa das Canoas, Rio de Janeiro



Fonte: < <http://casavogue.globo.com/Arquitetura/noticia/2012/12/oscar-niemeyer-15-maiores-obras.html> > Acesso em 19 de junho de 2016

Figura 34 - Universidade de Constantine, Argélia



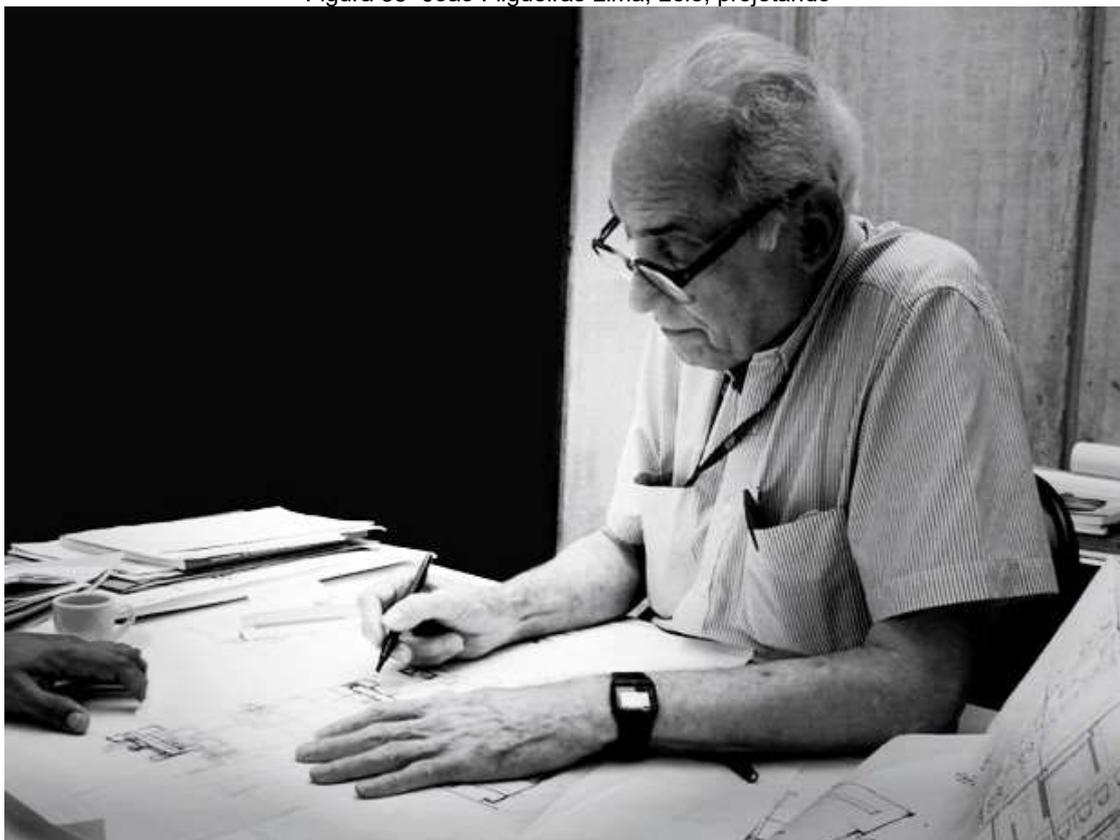
Fonte: < <http://niemeyer.org.br/?q=gm5/ajax/detalhe-obra/3706> > Acesso em 19 de junho de 2016

### 5.2.2 João Filgueiras Lima (Lelé)

João Filgueiras Lima, conhecido como Lelé, nasceu no Rio de Janeiro em 1932. Concluiu sua formação como arquiteto em 1955 na Universidade do Brasil. Tornou-se um arquiteto diferenciado por buscar sempre eficiência no processo construtivo, buscando sempre agilidade em suas construções assim como atingir leveza estrutural.

Destacando-se ainda a imensa contribuição do mesmo para a disseminação e a aceitação de estruturas em pré-fabricadas, usando a mesma com concreto armado convencional, assim como protendido. Arquiteto criativo e visionário, buscou explorar também diversos materiais estruturais, trabalhando também com argamassa armada e estruturas em aço.

Figura 35- João Filgueiras Lima, Lelé, projetando



Fonte: <<http://www.archdaily.com.br/br/tag/joao-filgueiras-lima>> Acesso em 19 de junho de 2016

Bastante crítico aos exageros arquitetônicos de Niemeyer na Capital Federal, a partir de experiências adquiridas em canteiro, inicia seu interesse por pré-fabricados, buscando com isso atender de maneira simples e eficiência as necessidades de uma nova cidade. (FRAJNDLICH, 2014) Note na próxima imagem a simplicidade obtida no

arranjo estrutural no Edifício de apartamentos para professores da Universidade de Brasília, também conhecido como Colina.

Figura 36- Edifício de apartamentos para professores da Universidade de Brasília, Colina 1962



Fonte: < <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/16.181/5592> > Acesso em 19 de junho de 2016

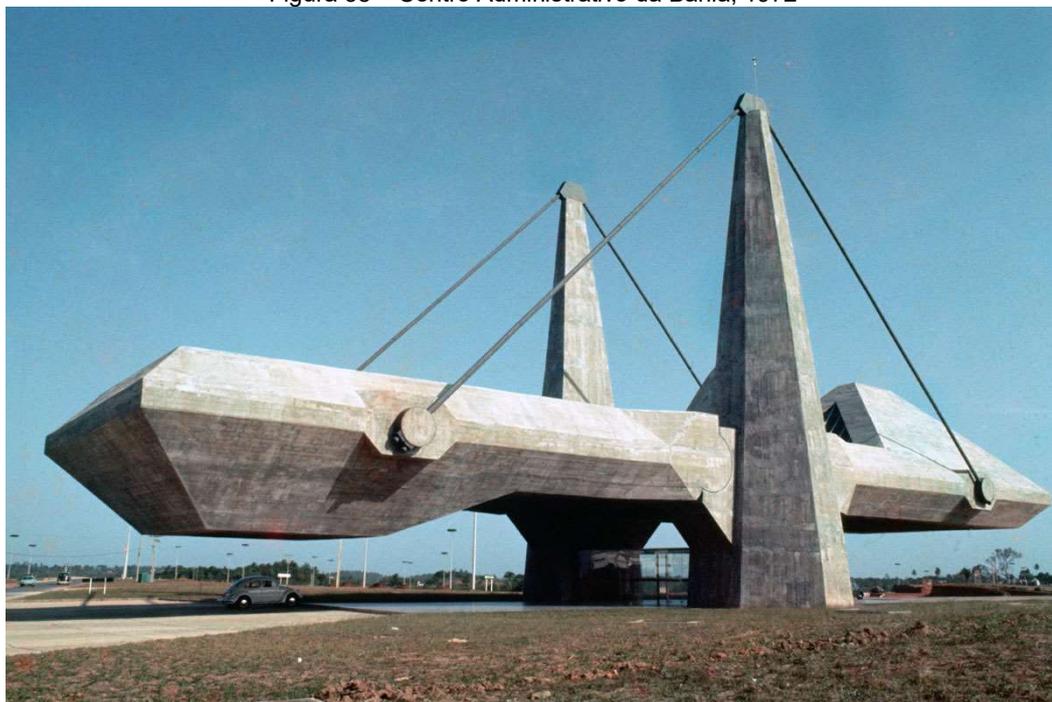
A visão de Lelé para a otimização estrutural valorizava muito o material utilizado e sua economia, "o concreto armado oferece possibilidades maravilhosas à invenção arquitetural quer na especulação corajosa de concepções estruturais inovadoras, quer ainda na pesquisa de processos racionalizados de construção". (FRAJNDLICH, 2014) A contribuição de Lelé para a atual a história arquitetônica brasileira é imensa, sempre destacando a sua mentalidade, beleza a partir da articulação harmônica de elementos. A seguir serão expostas algumas outras obras em concreto armado que Lelé foi responsável.

Figura 37- Hospital Regional de Taguatinga



Fonte: <<https://debaixodobloco.wordpress.com/2015/01/26/hospital-de-taguatinga-joao-filgueiras-lima-lele/hospital-regional-de-taguatinga-joana-franca-06-httpwww-archdaily-com-brbr603479obras-do-lele-por-joana-franca/>> Acesso em 19 de junho de 2016

Figura 38 – Centro Administrativo da Bahia, 1972



Fonte: <<http://blog.jeroenapers.nl/post/109879474630/de-bruutste-der-brutalisten-centro-de-exposi%C3%A7%C3%B5es>> Acesso em 19 de junho de 2016

## 6 SISTEMAS ESTRUTURAIS

Graças a percepção visual de estruturas naturais o homem conseguiu obter um conhecimento intuitivo para suas estruturas. Os galhos de uma árvore, capaz de se sustentar e resistir a esforços externos como a neve e o vento, tem uma relação muito similar às vigas em balanço. Sendo que a árvore é mais espessa na raiz e mais delgada nas pontas dos ramos, assim como as vigas. Esta relação instintiva ajudou muito o desenvolvimento inicial de estruturas, no entanto não se deve prender apenas a aspectos visuais observados. Muitos elementos que aparentam não ter estabilidade, por um conjunto de fatores acabam perdurando centenas de anos, um bom exemplo dessa situação é uma coluna cretense que é mais larga no topo que na base. (SALVADORI, 2006)

Figura 39- Observação de forças sobre um galho de uma árvore

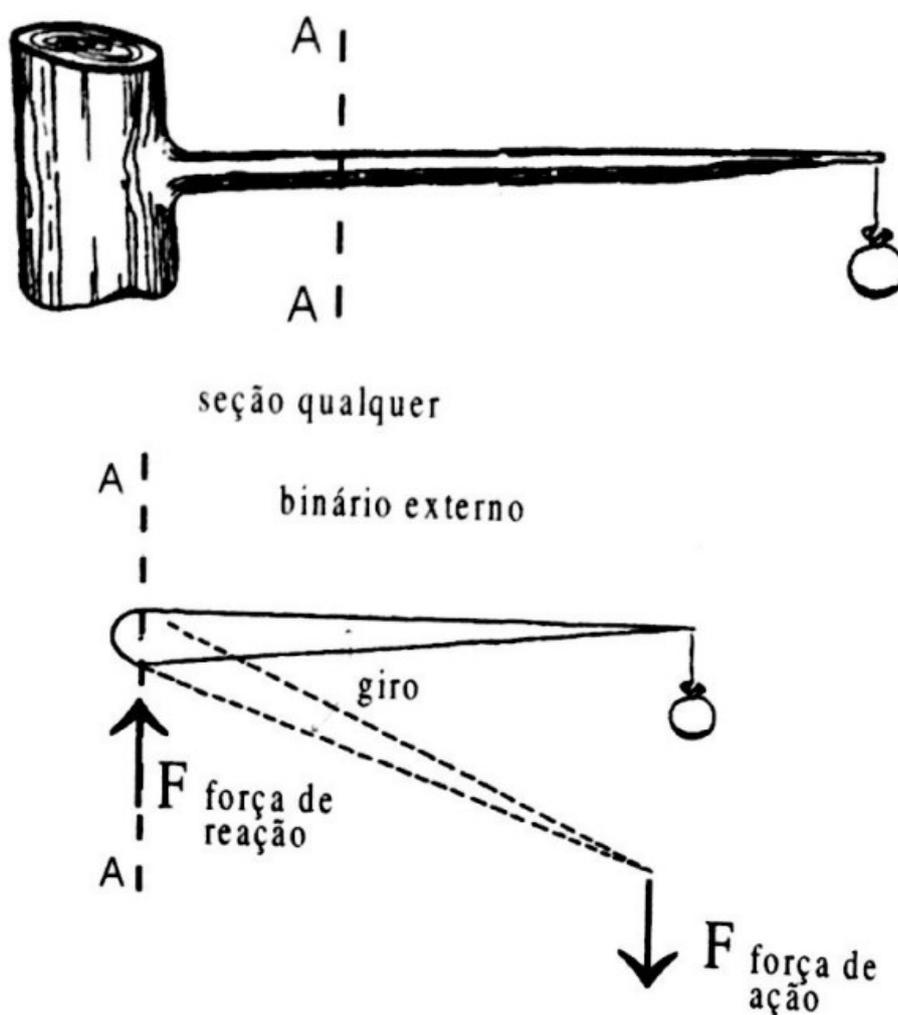


Figura 40– Coluna cretense



Fonte: <<https://umpouquinhodecadalugar.com/2012/01/18/a-ilha-de-creta-e-o-palacio-de-knossos/>>  
Acesso em 03 de maio de 2016

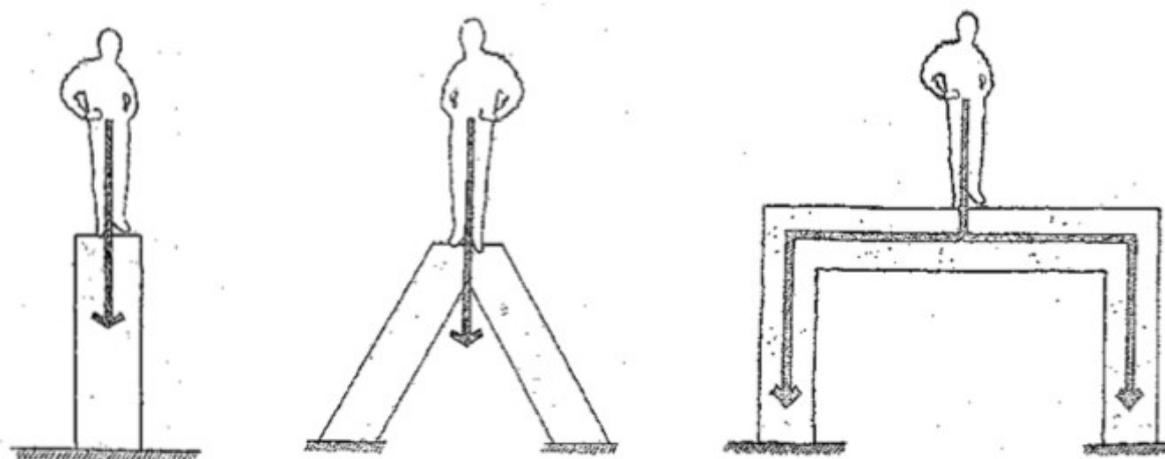
“Uma estrutura pode ser definida como sendo um conjunto de elementos que ao se relacionarem formando um sistema, desempenham uma função específica. Essa definição serve para diversas áreas do conhecimento. Em uma sociedade os indivíduos são componentes que ao se relacionarem entre si, formam uma estrutura social. Na biologia existem vários níveis de estrutura, no corpo humano, por exemplo, os órgãos são elementos que juntos compõem a estrutura organismo” (INOJOSA, 2010)

A estrutura é um conjunto, um sistema, composto de elementos que se relacionam para uma determinada função. Com o desenvolvimento da engenharia foi crescendo a necessidade de melhor detalhamento e padronização de estruturas. A partir dessa reflexão o sistema estrutural é constituído pelo conjunto de elementos que fazem com que uma edificação seja viável. Com esse objetivo em mente acabaram gerando sistemas estruturais padrões ou combinações dos mesmos. Um sistema estrutural, porém, necessita de uma forma arquitetônica, tendo em vista que a combinação desses elementos que é capaz de gerar obras diferenciadas. Ou seja, é necessário que arquitetos e engenheiros tenham conhecimento de vários sistemas estruturais e suas combinações, assim obtendo o melhor arranjo possível. No entanto novas combinações e diferentes arranjos podem vir a ser necessário para dar vida a uma estrutura.

“De todos os elementos componentes que contribuem para a existência da forma material rígida (casa, máquina, árvores ou seres animados), a estrutura é o principal. Sem estrutura, a forma material não pode ser preservada e, sem preservação da forma, o organismo interno não pode funcionar. Sem estrutura não há, portanto, organismo animado ou inanimado.[...] Para inventar uma estrutura e dar-lhe proporções exatas, deve-se seguir tanto o caminho intuitivo como o do matemático. As grandes obras do passado, construídas em uma época em que não existiam teorias científicas, atestam a eficácia e o poderio da intuição. Em nossa época, desenvolvem-se sem cessar teorias modernas, e seu acerto tem-se verificado na construção de estruturas maiores e mais ousadas. Se a invenção estrutural há de permitir a solução eficiente de novos problemas que aparecem diariamente, devido ao crescimento de atividades da construção, deve chegar a ser uma combinação harmônica de nossa intuição pessoal com uma ciência estrutural impessoal, objetiva, realista e rigorosa.” (Estruturas: uma abordagem arquitetônica / Daíçon Maciel da Silva, André Kraemer Souto. 2ª edição 2000 pg 25 - 32)

Com o objetivo de se entender o funcionamento de um sistema estrutural, deve-se primeiro entender a natureza das forças as quais a estrutura está submetida. A primeira força é a gravitacional, vertical. A partir disso dentro do pensamento estrutural existe um caminho o qual a força irá percorrer. Pequenas variantes do sistema, seja por motivos estéticos, econômicos ou mesmo de utilização geram alterações no caminho da força na estrutura. (REBELLO, 2000) O sistema estrutural tem como objetivo a transmissão das cargas que atuam na estrutura para o solo de forma que a mesma possa cumprir as funções na qual foi desenvolvida, levando em conta questões de conforto, economia, estética e ecologia. (INOJOSA, 2010)

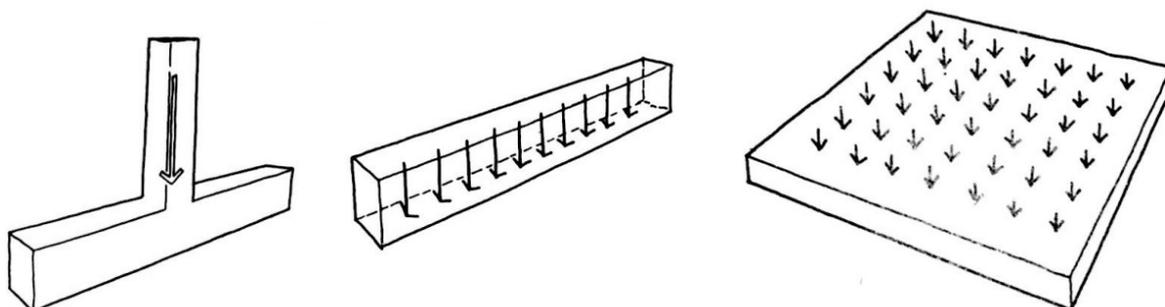
Figura 41– Caminho das forças verticais



Fonte: REBELLO (2000) Pg. 24

A distribuição de cargas pela estrutura está relacionada com a geometria da mesma. O carregamento pode ser distribuído de maneira uniforme, variável ou pontual. (REBELLO, 2000)

Figura 42- Comparação entre sistema de carregamento distribuído uniforme, variável e pontual

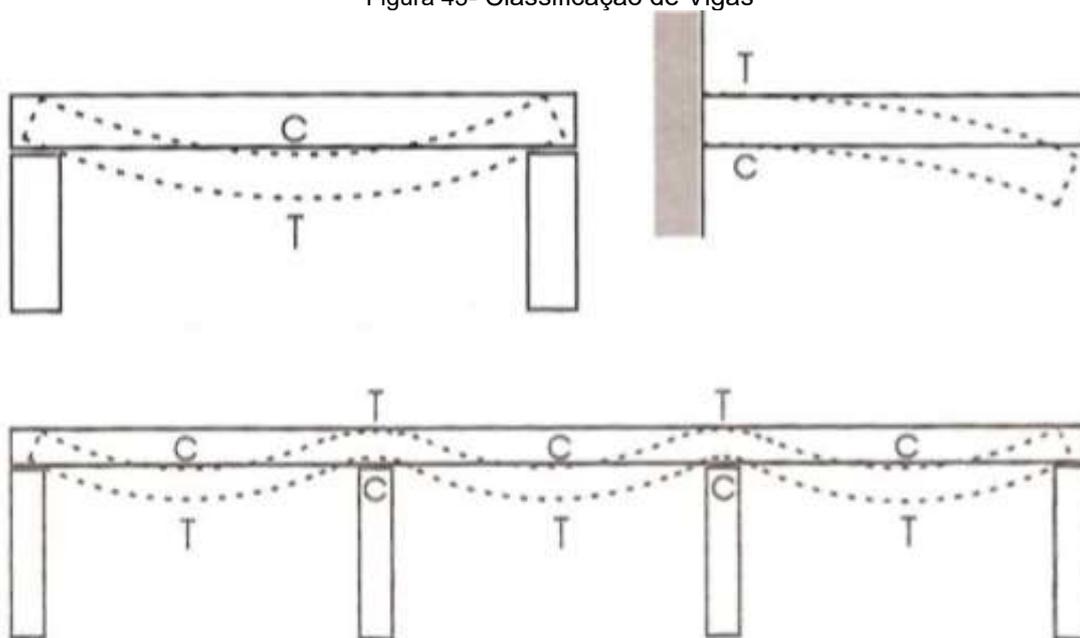


Fonte: REBELLO (2000) pgs. 37 e 38

Para construção de edificações existem alguns elementos básicos que em conjunto podem constituir um sistema, os principais são as vigas, os pilares, as lajes, os arcos, os cabos e as treliças. A partir da combinação de dois ou mais elementos forma-se o sistema estrutural. (REBELLO, 2000) A combinação mais comum desses elementos é a de Viga x Pilar. (INOJOSA, 2010)

A viga é um elemento estrutural que está quase sempre sujeito a dois esforços, o momento fletor e a força cortante, a partir da sua utilização no sistema estrutural pode ser classificada com vigas bi-apoiadas, vigas em balanço, vigas contínuas, ou mesmo vigas associadas a pilares, constituído assim um Pórticos. (INOJOSA, 2010). Por ser um elemento que contém muita flexibilidade na aplicação a viga é um elemento estrutural muito utilizado. A imagem a seguir mostra alguns sistemas simples com a aplicação de vigas e seu comportamento.

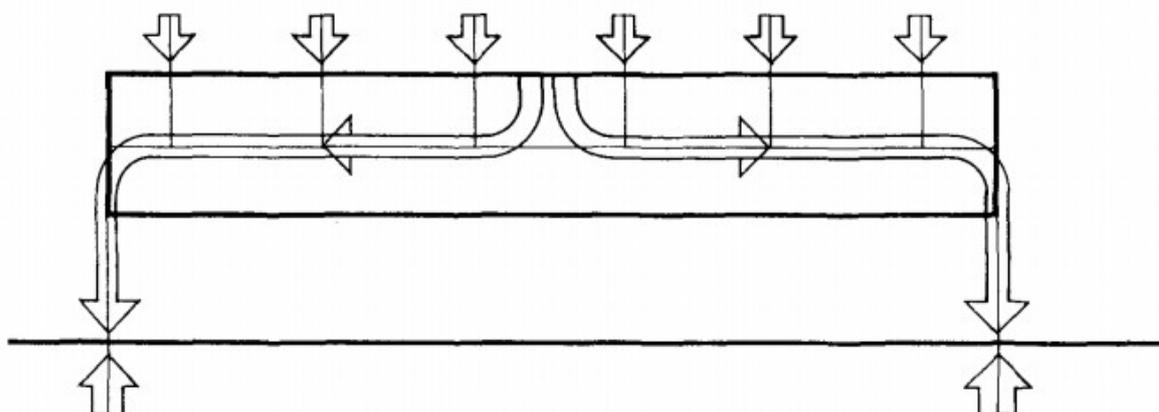
Figura 43- Classificação de Vigas



Fonte: REBELLO (2000) pg. 99

Como já foi citado e explorado na imagem anterior, a viga é um elemento estrutural muito aplicado pois existem diversas variações de utilização para o mesmo. A carga incidida sobre é a mesma geralmente é uniformemente variável, no entanto por razões de cálculo normalmente se utiliza a distribuição uniforme no cálculo a não ser que exista uma carga pontual sobre a mesma. Assim a principal característica da viga é de um elemento de condução e distribuição de cargas, tornando a estrutura mais simples, esbelta e de fácil trabalhabilidade. A viga utilizada como elemento de transferência de carga pode ser vista na imagem a seguir.

Figura 44- Transferência de carga na viga

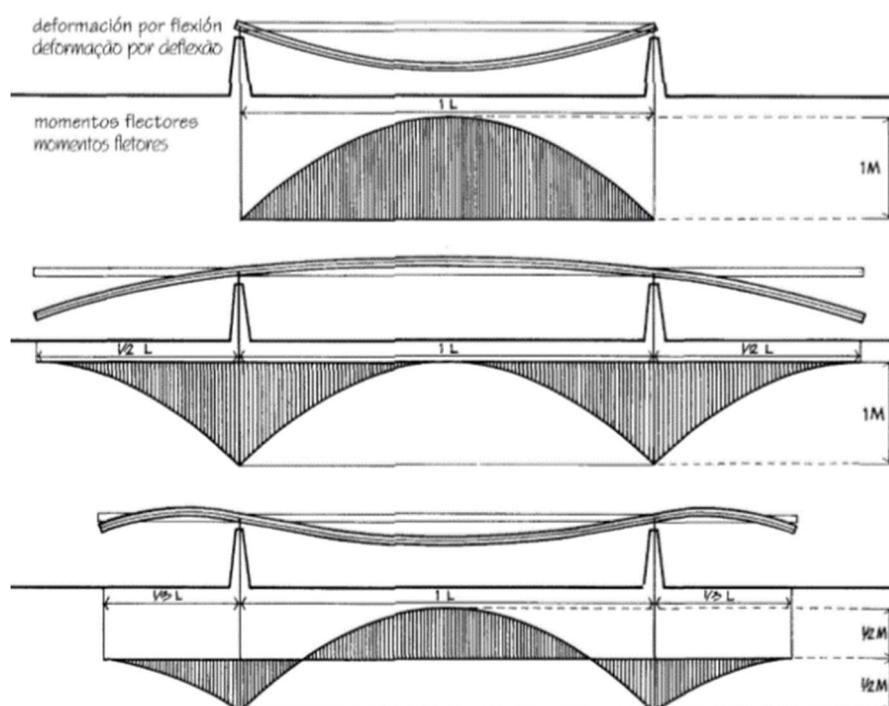


Fonte: ENGEL (2007) Pg. 177

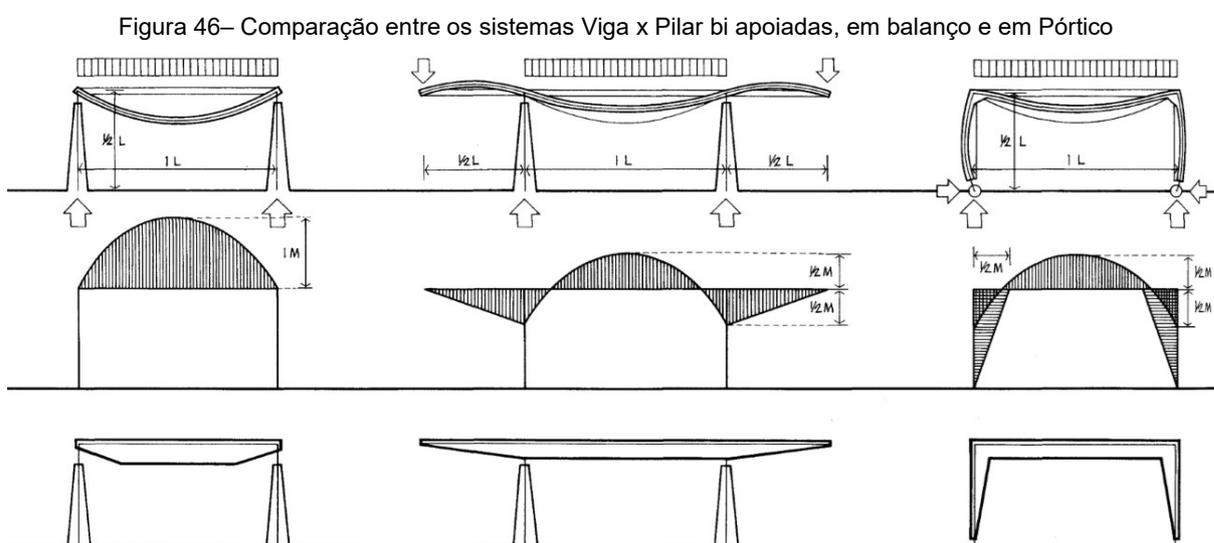
Como já vem sendo explorado, não é apenas o elemento utilizado que caracteriza um sistema estrutural. O tamanho do vão, o partido arquitetônico assim como diversos fatores influenciam no mesmo. Por motivos práticos de cálculo, de lançamento e de execução um sistema muito frequentemente utilizado na construção civil é o de Viga x Pilar. Este sistema consiste basicamente pelo conjunto de elementos nos quais a viga tem como principal função ser um elemento de transferência de forças, isto é a mesma deve levar os esforços solicitantes para serem aplicados em cima dos pilares, os quais devem resistir a forças de compressão.

Na associação Viga x Pilar existem pequenas variantes de disposição. As vigas podem ser bi apoiadas sobre os pilares, em balanço ou contínuas. Vigas bi apoiadas apresentam tensões de compressão na parte de cima e tração em sua parte inferior, as vigas em balanço apresentam o contrário. As vigas contínuas, as que possuem diversos apoios, os trechos de vãos se comportam assim como vigas bi apoiadas enquanto que os apoios se comportam em condições similares ao balanço. (REBELLO, 2000) Tal associação cria uma variante que deve ser muito bem estudada em estruturas de concreto armado, uma vez que o tipo de armadura que deve ser reforçada, armadura positiva ou negativa, é uma dos detalhes mais cruciais de um lançamento de um projeto estrutural detalhado.

Figura 45- Demonstração de variantes de forças dentro do sistema Viga x Pilar com dois apoios, modelo de gráfico americano



Não é apenas a combinação de dois elementos que caracteriza o mesmo, deve se ressaltar o grande contraste da mobilidade, trabalhabilidade e da rigidez entre dois sistemas estruturais que aparentam muita similaridade, o sistema Viga x Pilar e o Pórtico. No sistema Viga x Pilar existe mais mobilidade entre os elementos, a ligação entre os mesmos permite que a estrutura possa trabalhar com mais facilidade. Em contrastes tem se a utilização do sistema estrutural Pórticos, com ligação rígidas assim aumentando as forças sobre a parte constituintes pilar do sistema e diminuindo a sollicitação sobre a viga. Estas diferenças são exploradas na figura a seguir, deve-se destacar que o diagrama de momento apresentado também está no formato americano.



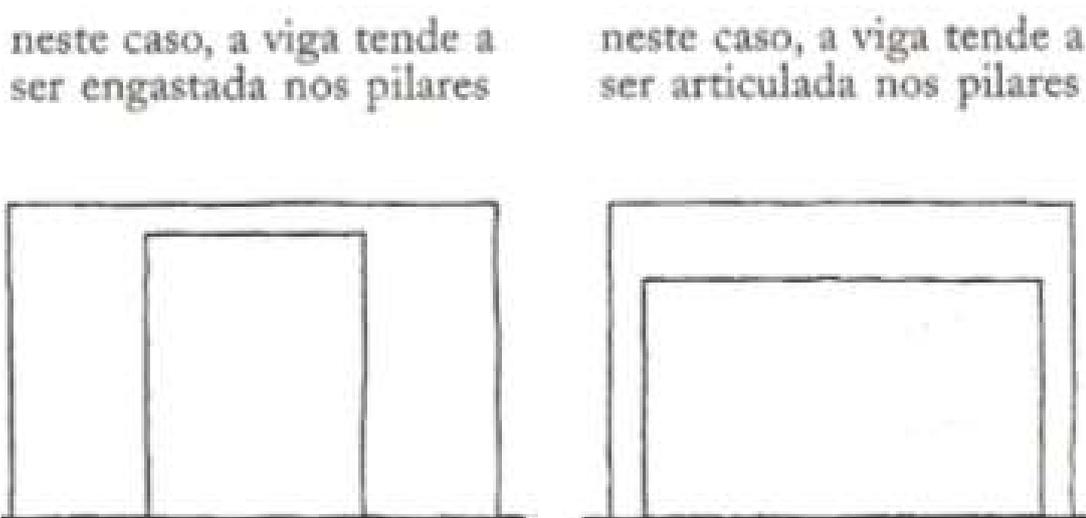
Fonte: ENGEL (2007) pg. 186

A partir da figura acima, é possível notar como a sollicitação sobre as estruturas difere a partir da maneira como os elementos estão dispostos. Na escolha de um sistema de vigas bi apoiadas, ocorre uma sollicitação de flexão sobre as vigas, e sobre os pilares existe somente a sollicitação de compressão. (INOJOSA, 2010) No sistema de vigas em balanço, como já foi citado, existe uma variação da maneira como o momento fletor incide sobre a viga, tal alteração caracteriza uma viga mais esbelta, neste sistema o pilar também é submetido somente a compressão.

“No sistema de pórticos a viga transfere aos pilares os esforços de flexão, assim, os pilares passam a ter dimensões maiores. Nesse sistema quanto maiores as dimensões dos pilares em relação à viga estes absorvem mais momento, chegando ao estado limite, quando a viga passa a se comportar como uma viga engastada” (INOJOSA, 2010sa, pg. Pg 36 3 37)

A figura a seguir retirada do livro *A Concepção Estrutural e a Arquitetura de Rebello*, demonstra de forma bem simples e de fácil entendimento os contrastes entre os sistemas. Note que na imagem da esquerda, representando os pórticos, o comportamento da viga tende a ser engastado como já citado, a viga apesar de ser mais esbelta torna os pilares muito mais robusto enquanto que no sistema bi apoiado ocorre o contrário.

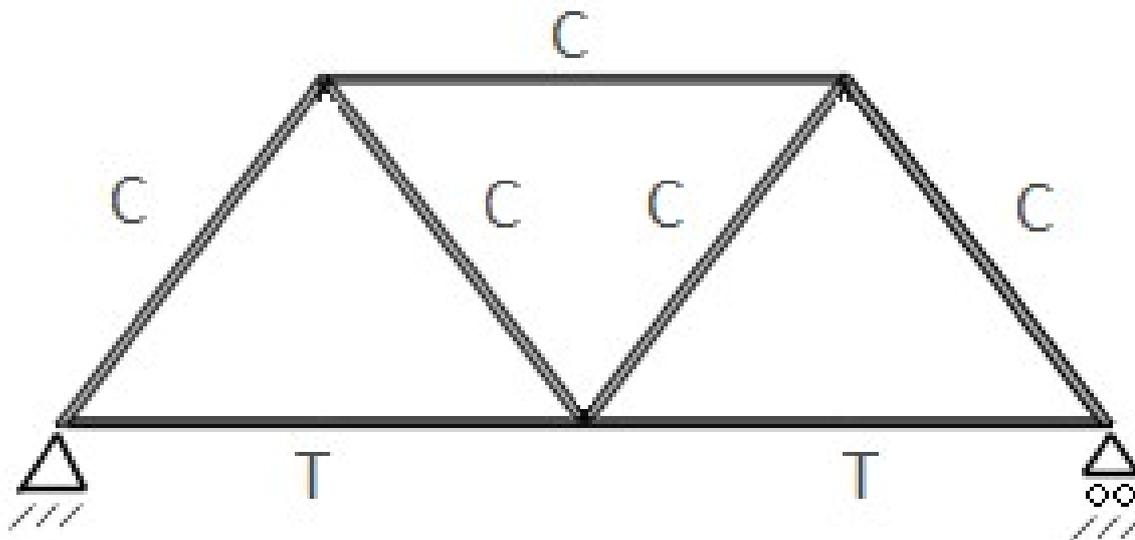
Figura 47- Representação dos sistemas



Fonte: REBELLO (2000) pg. 170

A treliça é um sistema estrutural formado por barras que se unem em pontos denominados nós. Formado a partir de uma associação similares ao cabo associados a um tirante, expostos na figura abaixo. Essa associação de elementos consegue mudar a natureza das forças de tração para compressão, a partir de um fenômeno similar ao do arco. O resultado obtido é um sistema simples triangular, constituído por barras, que tem boa resistência a tração e compressão simples. Tornando assim um sistema de bom resultado para vencer grandes vãos apesar de não ser recomendada sua aplicação com estruturas de concreto armado, uma vez que nos trechos resistentes a tração é somente a armadura que está trabalhando, ficando o concreto nestes trechos funcionando mais como elemento decorativo e de proteção. (REBELLO, 2000)

Figura 48- Treliça representada de forma simples, C pontos com esforço de compressão e T pontos com esforço de tração



Fonte: < <http://help.solidworks.com/2012/Portuguese-brazilian/SolidWorks/cworks/Trusses.htm> > (Com alteração do autor) Acesso em 16 de maio de 2016

Figura 49- Treliça em concreto armado

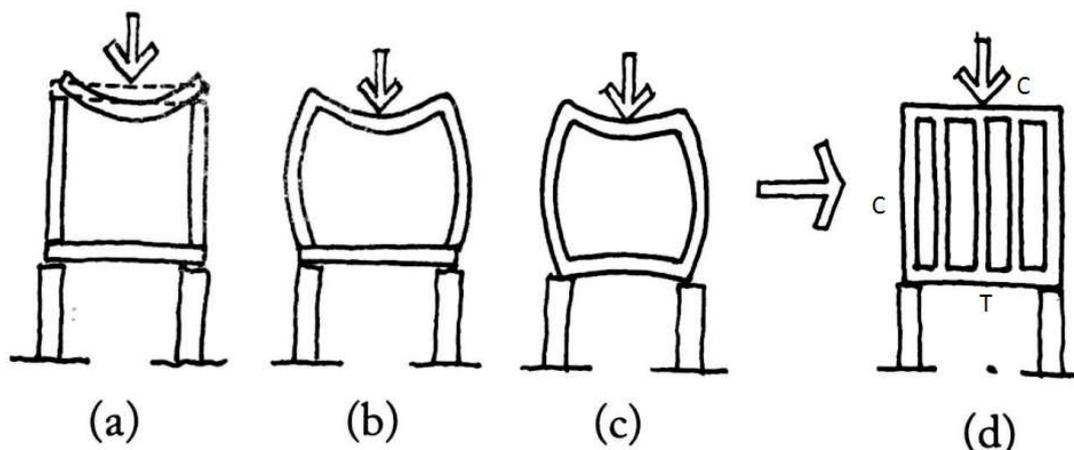


Fonte: < <http://www.mmprojetoconsultoria.com.br/portfolio/cia-de-tecidos-santanense-recuperacao-de-trelizas-de-concreto/> > Acesso em: 16 de maio de 2016

Um elemento cujo o funcionamento estrutural é muito similar ao da treliça é a viga Vierendel, o mesmo também é constituído por barras que se encontram nos nós. Na figura abaixo é possível se entender melhor o funcionamento da mesma, os

pontos marcados com “C” estão sujeitos a forças de compressão enquanto que o ponto marcado com “T” está submetido a tração.

Figura 50- Exemplo de funcionamento de uma viga Vierendel



Fonte: REBELLO (2000) pg. 107

A principal diferença entre o sistema de viga Vierendel e o de treliça é que: “na treliça, os nós devem ser articulados, daí as barras serem sempre organizadas em triângulos; a viga Vierendel para ser possível, necessita que os nós sejam rígidos, dispensando a formação triangular” (REBELLO, 2000) Seu uso é mais frequente com concreto armado, tendo em vista as situações particulares de sua execução, e a boa resistência a compressão do mesmo.

Figura 51– Detalhe de uma viga Vierendel



Fonte: <<https://valeskadaniely.wordpress.com/2015/05/01/algumas-obras-de-joao-filgueiras-lima/>>  
Acesso em 28 de maio de 2016

Figura 52- Detalhe da fachada da estrutura do Hospital Sara Kubitscheck em Brasília

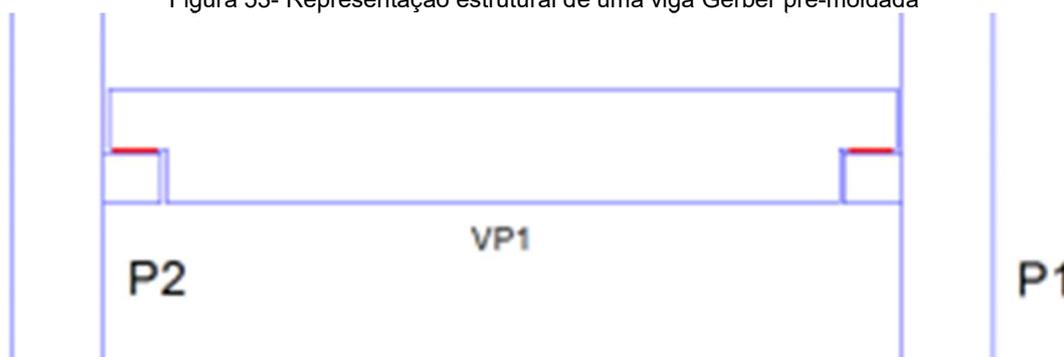


Fonte: < <http://caugo.gov.br/morre-lele-filgueiras-um-dos-grandes-nomes-da-arquitetura-brasileira/>> Acesso em 16 de maio de 2016

Deve ser destacada a imensa fluidez arquitetônica que é obtida a partir da utilização da viga Vierendel e da treliça de concreto armado, ambos elementos conseguem atribuir um grande grau de leveza para a estrutura. Além disso, ambos elementos conseguem vencer grandes vãos, e tornam a estrutura mais leve graças aos vazios. Outro ponto que deve ser destacado é a iluminação nesses tipos de estrutura, nota-se que o aproveitamento da iluminação solar é maior e existe uma maior aproximação entre a estrutura e de elementos do meio, como a área verde por exemplo. Com isso foi concluído que as duas soluções são de fácil aplicação e de grande eficiência para o trabalho de uma estrutura, apesar de não serem econômicas no uso do concreto e na execução estruturais, tais pontos não devem sobressair ao objetivo estrutural e os benefícios obtidos.

A partir da associação de vigas simples isostáticas obtém-se o sistema estrutural conhecido com Viga Gerber. Elementos sem estabilidade são associados a elementos estáveis, assim constituído um conjunto estável, o elemento que realiza a transferência de ações e conhecido como rótula. (KRIPKA, 2011).

Figura 53- Representação estrutural de uma viga Gerber pré-moldada



Fonte: <<http://blogeberick.altoqi.com.br/pre-moldados/vigas-pre-moldadas-com-e-sem-dente-gerber/>> Acesso em: 17 de maio de 2016

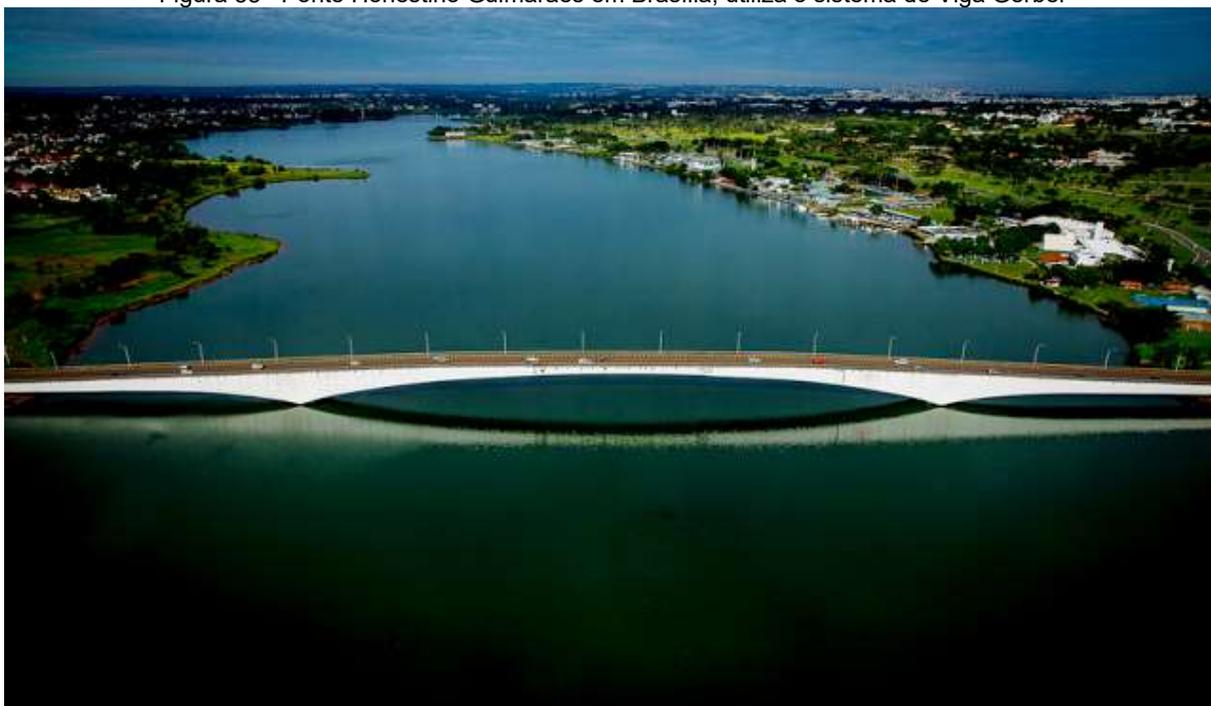
A utilização da viga Gerber deve ser bem estudada detalhadamente por todas as partes envolvidas no projeto de uma estrutura. Este sistema estrutural é de difícil aplicação, tem que estar em constante cuidado da estrutura. No entanto é uma solução muito utilizada em estruturas de concreto pré-moldadas e também em pontes, na figura abaixo. Sua execução deve ser cautelosa para evitar futuros problemas de estabilidade estrutural em função do desgaste em caso de má execução ou falta de manutenção das estruturas.

Figura 54- Ponte Honestino Guimaraes, detalhe construtivo da viga gerber em estrutura metálica (1976)



Fonte: Fonseca, 2010 Apud arquivo público do DF

Figura 55– Ponte Honestino Guimaraes em Brasília, utiliza o sistema de Viga Gerber

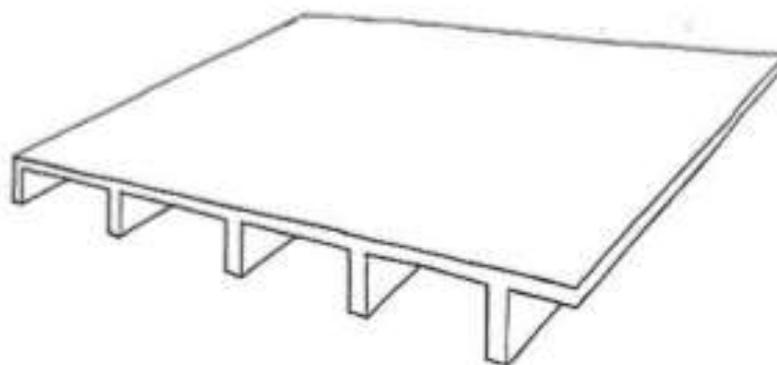


Fonte: < <http://www.contextolivre.com.br/2015/07/brasil-altera-nome-de-ponte-que.html>> Acesso em 17 de maio de 2016

A partir da associação Viga x Viga pode se gerar dois tipos de sistemas, as lajes nervuradas e as grelhas. Como nas comparações acima, apesar de serem constituídos pelos mesmo elementos estruturais, existe contrastes entre os sistemas, que devem ser destacados em seu comportamento estrutural.

No sistema de Laje nervurada as vigas são colocadas lado a lado, com um espaçamento pequeno entre elas, essa proximidade acarreta uma diminuição da altura da viga. (INOJOSA, 2010)

Figura 56- Laje nervurada



Fonte: REBELLO (2000) pg. 161

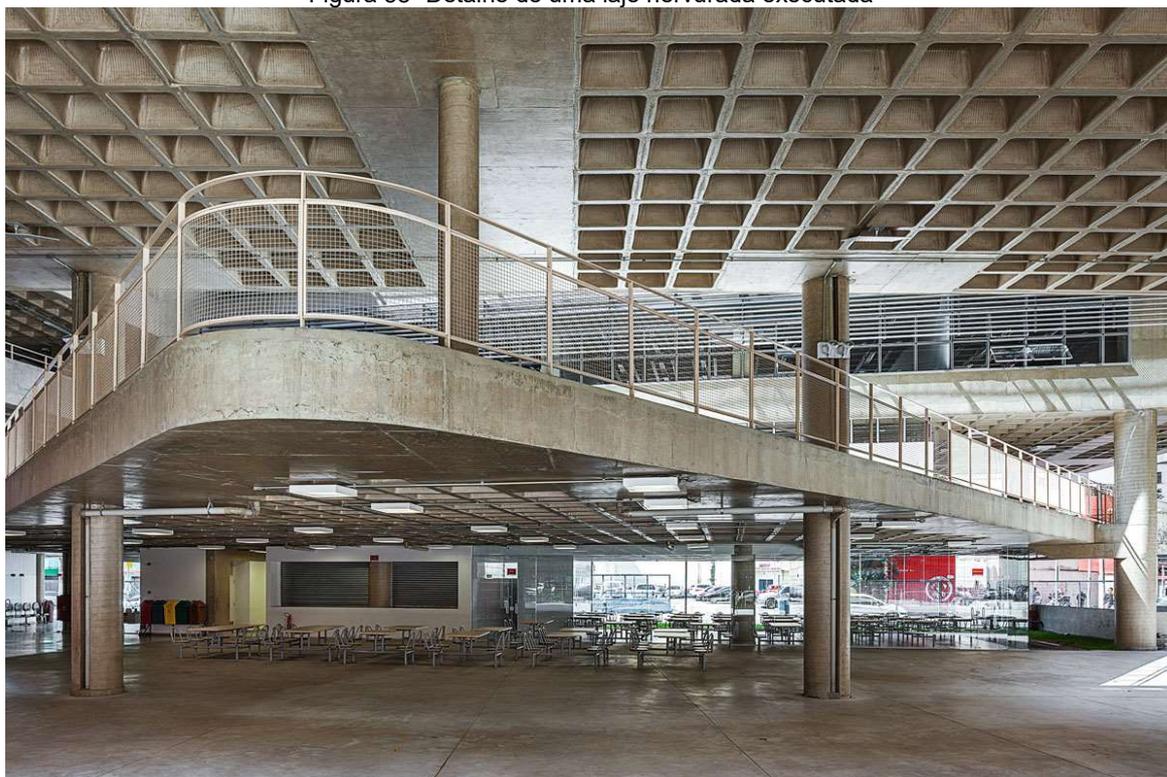
A utilização de lajes nervuradas em estruturas de concreto armado é muito constante. Este sistema permite uma maior agilidade em sua execução devido a utilização de formas de plástico, economizam a quantidade de concreto na estrutura, é bem aceito por arquitetos graças aos seus atributos estéticos além de constituir uma solução estrutural eficiente para a estrutura. O único inconveniente desse sistema é a falta de resistência a momentos negativos, ou seja, sua aplicação em lajes em balanço fica limitada.

Figura 57- Formas pré-fabricadas em plástico utilizadas em Laje nervurada



Fonte: <[http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/formas-plasticas-para-lajes-nervuradas-asseguram-versatilidade-de-aplicacao\\_3685\\_0\\_0](http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/formas-plasticas-para-lajes-nervuradas-asseguram-versatilidade-de-aplicacao_3685_0_0)> Acesso em: 17 de maio de 2016

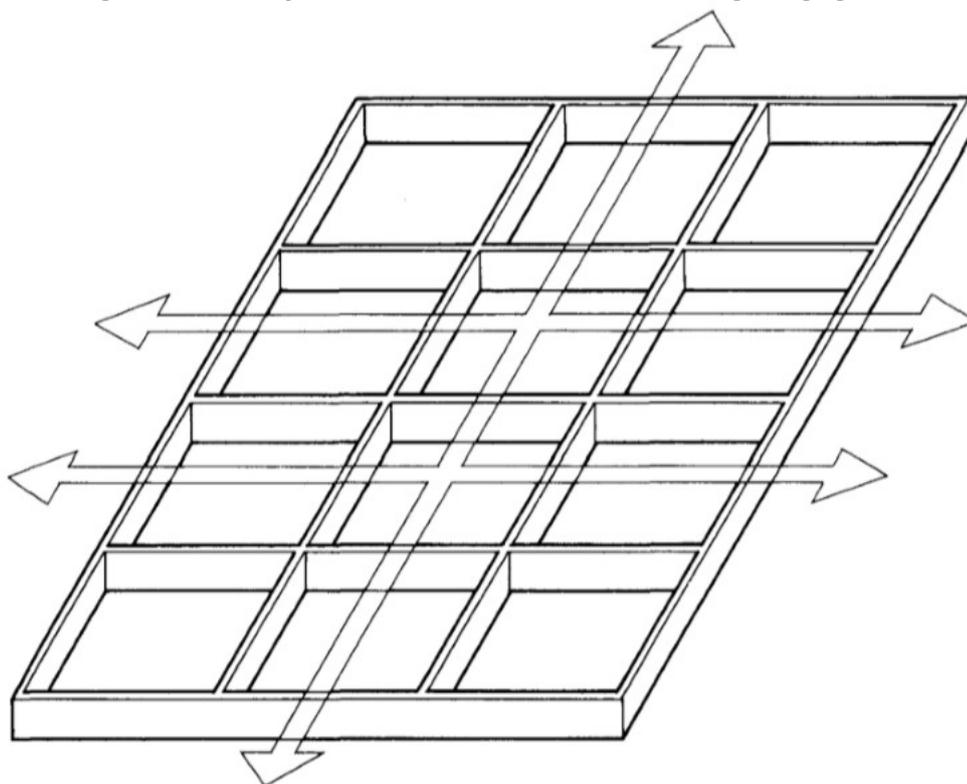
Figura 58- Detalhe de uma laje nervurada executada



Fonte: < <https://arcoweb.com.br/projetodesign/arquitetura/pedro-taddei-e-francisco-spadoni-etec-santa-ifigenia-e-centro-paula-souza-sao-paulo>> Acesso em 17 de maio de 2016

A outra associação obtida a partir da combinação viga x viga é a grelha, as vigas também são colocadas lado a lado, com vão pequeno, similar as lajes nervuradas. Porém a diferença é que as vigas se repetem nas duas direções e em as ligações entre elas são rígidas. Graças a essa rigidez o sistema torna-se mais eficiente para o vencimento de vãos maiores, uma vez que a distribuição de cargas ocorre de maneira mais uniforme nas duas direções. (REBELLO, 2000)

Figura 59- Distribuição uniforme sobre o sistema estrutural viga x viga grelha

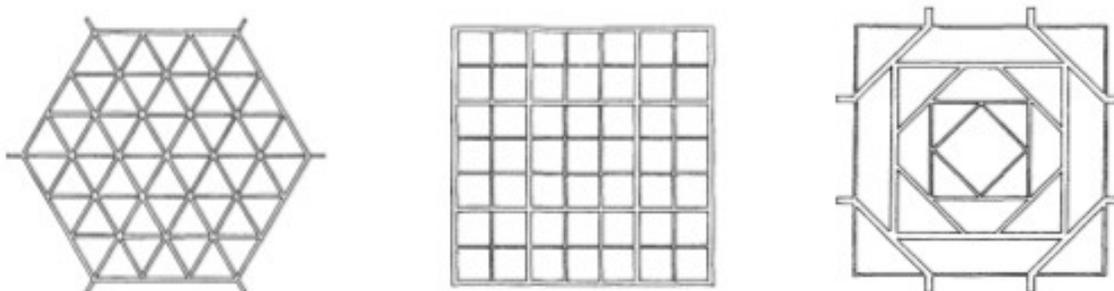


Fonte: ENGEL (2007) pg. 201

“Visando a utilização de vigas nos pavimentos de maneira a obter maiores distâncias entre apoios, estas são lançadas em sistema reticulado plano, denominado grelha, gerado pelo cruzamento rígido entre as vigas no plano do pavimento.” (Sistemas estruturais para grandes vãos em pisos e a influência na concepção arquitetônica, Ricardo Henrique Dias 2004)

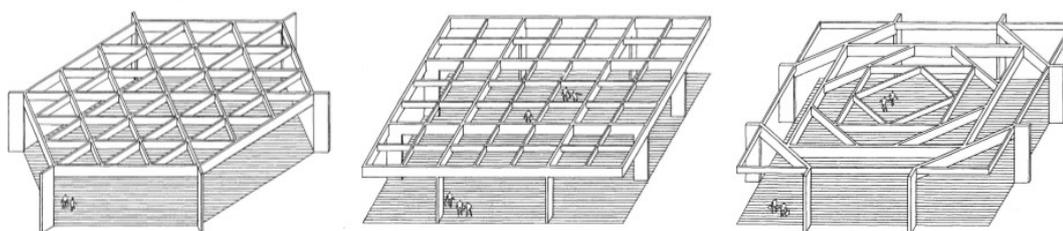
O sistema estrutural em grelhas consegue dar uma liberdade arquitetônica e estrutural muito grande para o projeto arquitetônico, é um sistema eficiente em vários formatos e com distribuição uniforme eficiente. Normalmente esse sistema descarrega as forças sobre os pilares, que podem ser esbeltos, trazendo assim uma leveza estrutural característica desse sistema. (ENGEL, 2001)

Figura 60- Diferentes formatos utilizando o sistema de grelha



Fonte: ENGEL (2007) pg. 203

Figura 61- Representação dos sistemas estruturais acima desenvolvidos



Fonte: ENGEL (2007) pg. 204

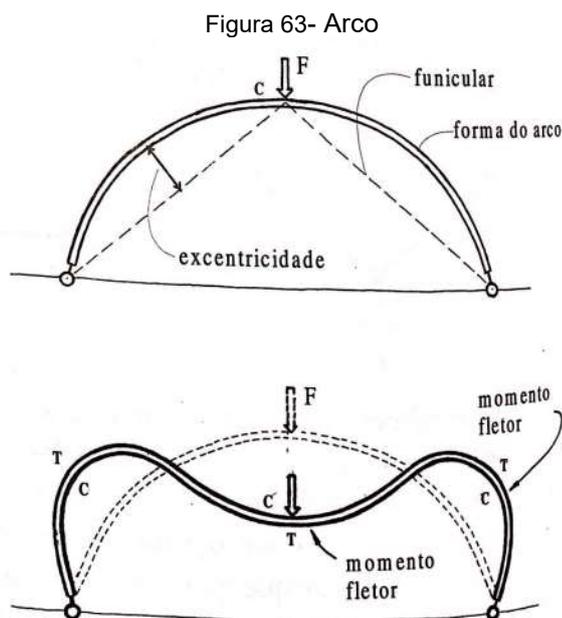
O concreto armado é muito utilizado para execução em grelha, uma vez que o mesmo permite uma maior mobilidade de formas e agilidade na execução da estrutura. Deve-se ressaltar, no entanto que a fase de execução deve ser acompanhada com cautela, uma vez que falhas na execução desse sistema além de comprometer o funcionamento da estrutura, podem gerar pequenas patologias incomodas, descaracterizando assim a relação artística.

Figura 62- Detalhe da utilização de grelha na FAU USP



Fonte: < <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/04.044/622>> Acesso em 17 de maio de 2016

Outros elementos estruturais muito eficiente e de muita aplicação são o arco, resistente a compressão simples, e o cabo, resistente a tração simples. Considerando que o agrupamento desses dois elementos leva a estruturas mais leves, pois estão sujeitos somente a tração e compressão simples, cria-se um elemento estrutural simples e eficiente. (REBELLO, 2000) A figura a seguir representa as solicitações que está sujeito este elemento, note como a combinação de ambos se torna complementar.



Fonte: REBELLO (2000) pg. 92

O arco apresenta também reações horizontais no apoio, essa relação é considerada inversamente proporcional a flecha. A relação mais econômica está exposta na figura abaixo, aonde “f” representa a flecha do arco e “L” representa o vão. Também considerando a economia de material, a seção pode variar ao longo do comprimento, sendo máxima junto aos apoios. (REBELLO, 2000)

Figura 64– Fórmula da relação ideal entre flecha e vão

$$\frac{1}{10} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5}$$

Fonte: REBELLO (2000) pg.93

O arco como elemento estrutural é muito eficiente na distribuição de cargas. Sendo muito utilizado como parte da solução estrutural em pontes. A próxima figura representa a Ponte Ernesto Dorneles no Rio Grande do Sul. A mesma utiliza o arco como elemento estrutural essa estrutura feita em concreto armado. Deve-se ressaltar que existe um afunilamento na parte superior do arco, como já foi citado essa região é menos solicitada por isso não necessita de tanto material.

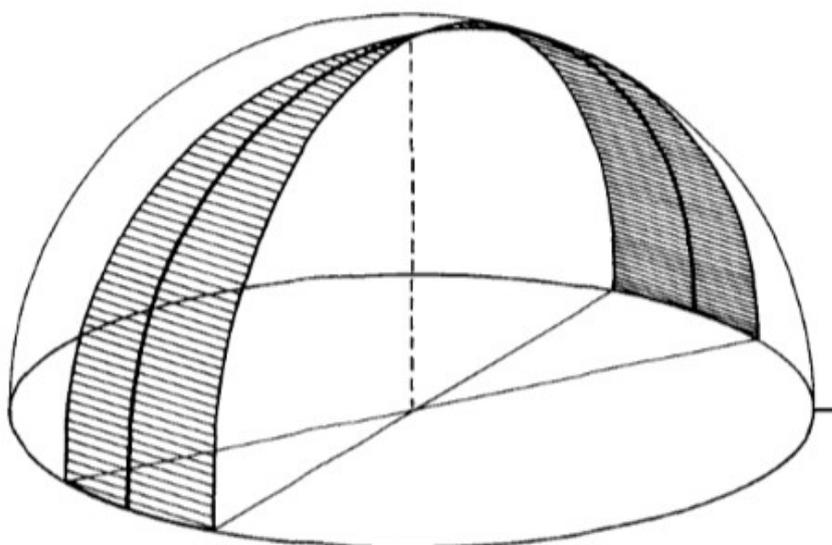
Figura 65– Ponte Ernesto Dornelles, Rio grande do Sul



Fonte: < [https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte\\_Ernesto\\_Dornelles](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_Ernesto_Dornelles)> Acesso em 18 de maio de 2016

A partir da associação contínua radial de arcos infinitamente próximos obtém-se o sistema estrutural conhecido como cúpula. (REBELLO, 2000) A figura abaixo representa essa associação de maneira espacial.

Figura 66- Representação espacial de uma cúpula

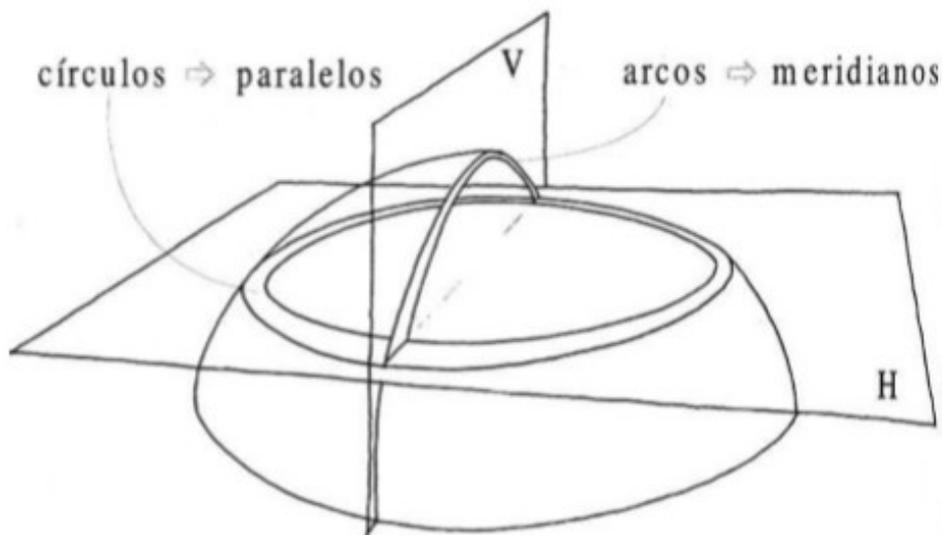


Fonte: ENGEL (2007) pg. 245

“Uma cúpula, como visto, é formada pela sucessão radial dos arcos, portanto se selecionada por planos horizontais apresenta círculos denominados paralelos. Quando selecionadas por planos verticais que passam pelo centro dos paralelos, apresenta os arcos meridianos que tem a mesma forma do

arco que lhe deu origem [...] Os paralelos comportam-se como anéis de travamento dos arcos dos meridianos e, por isso as cúpulas apresentam um comportamento funicular para qualquer tipo de carregamento, exceto cargas pontuais. Isso se deve ao fato de os paralelos não permitirem livre deformação dos arcos meridianos.” (INOJOSA, 2010 pg. 35)

Figura 67– Paralelos e meridianos da Cúpula



Fonte: REBELLO (2000)

Como foi visto neste capítulo, existem diversos sistemas estruturais, e entre eles várias possibilidades de combinação. O limite de aplicação de um sistema está diretamente ligado com o limite da criatividade e da capacidade de aplicação dos profissionais. O arquiteto com seu lado artístico consegue inovar, repensar estruturas, e utiliza-las como forma de se passar uma mensagem. Assim cabe ao engenheiro, tornar realidade os traços que saíram da mente do arquiteto. Mais uma vez deve ser ressaltado que a harmonia entre os profissionais é imprescindível para o bom andamento. A capacidade de criação de uma obra prima da arquitetura e engenharia só é possível graças a complementação que os dois profissionais têm entre si.

## **7 ESTUDO DE CASO**

Neste capítulo serão abordadas quatro construções famosas pela sua arquitetura a fim de se realizar uma análise estrutural, buscando compreender a decisão do arquiteto pela forma projetada. As obras apresentadas representam diversos sistemas estruturais diferentes, será analisada a eficiência do mesmo e se foi possível atingir os objetivos da obra. A primeira obra a ser abordada será a Catedral de Brasília com seu conjunto de pilares de forma não convencional unidos por dois anéis de concreto armado, a segunda obra a ser abordada é a cúpula invertida do Congresso Nacional, estes estudos foram realizados por outros autores, os mesmos servem como base para o último estudo. Por fim será feito um estudo sobre a residência José Silva Netto, de maneira funcional, buscando esclarecer como é o seu comportamento estrutural. Em todos os casos as análises buscam entender o relacionamento entre arquitetura e estrutura sob a ótica da arte estrutura destacando ainda a eficiência da combinação estrutural utilizada.

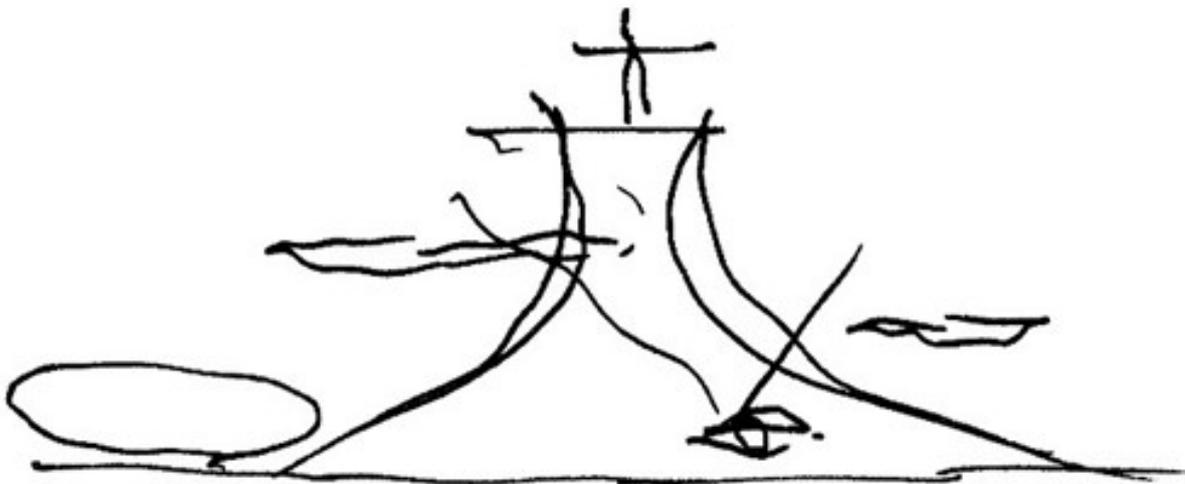
### **7.1 A CATEDRAL DE BRASÍLIA**

A Catedral de Brasília foi projetada por Oscar Niemeyer, sendo o primeiro monumento a ser criado na nova capital. A construção da mesma se iniciou em 1959, teve sua estrutura finalizada em 1960 porém só foi inaugurada em 1970 constituindo assim um marco da engenharia e arquitetura nacional.

Este grande monumento é um exemplo de como a estreita relação harmônica entre arquiteto e engenheiro consegue criar um marco em uma cidade, talvez o ponto turístico mais marcante da capital federal. Tal resultado foi somente possível graças a interação de dois grandes nomes, o arquiteto Oscar Niemeyer e o engenheiro Joaquim Cardozo.

Como pode ser visto a seguir, a ideia inicial pertence ao papel, este período consiste na interação somente da mente e imaginação do arquiteto com o papel e o lápis a mão livre. Após a fase inicial de criação que foi abordada anteriormente na imagem de Castro Junior, avança-se para a projeção arquitetônica mais detalhada e a busca de sua viabilidade estrutural.

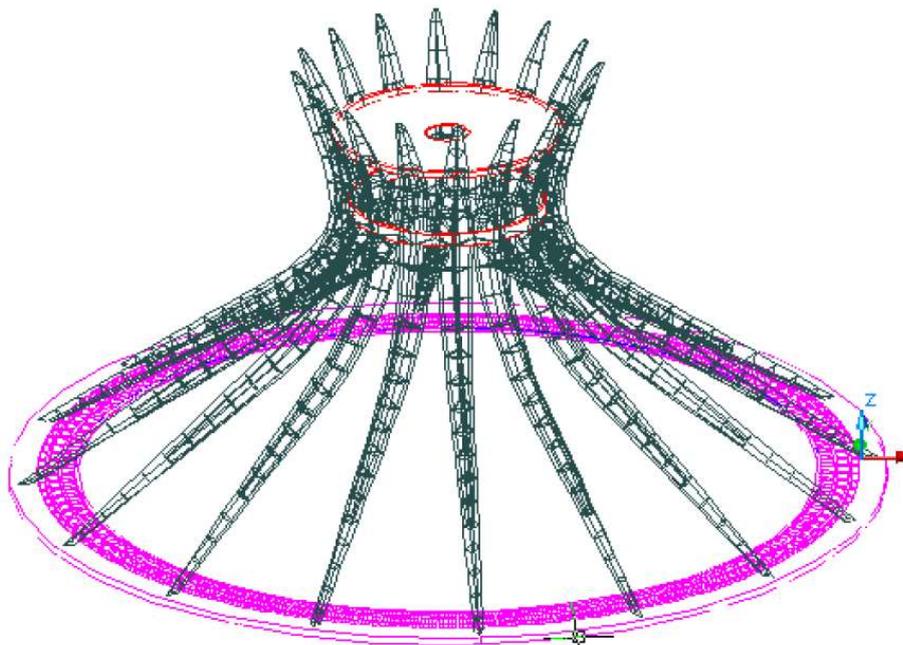
Figura 68- Croqui da catedral feito por Niemeyer



Fonte: <[http://www.archdaily.com.br/br/01-14553/classicos-da-arquitetura-catedral-de-brasilia-oscar-niemeyer/niemeyer\\_-\\_catedral\\_brasilia](http://www.archdaily.com.br/br/01-14553/classicos-da-arquitetura-catedral-de-brasilia-oscar-niemeyer/niemeyer_-_catedral_brasilia)> Acesso em 27 de maio de 2016

O projeto inicial previa 21 pilares, com 40 metros de altura, distribuídos sobre o anel de concreto com base de 70m, apoiado sobre a fundação. Por razões estéticas o número de pilares foi reduzido para 16 e o diâmetro da base para 60m. (PESSOA , 2002) A figura 69 é uma representação da estrutura feita no AutoCad por Diogo Pessoa.

Figura 69- Projeção da estrutura feita no AutoCad



Fonte: PESSOA 2002

“As obras de Brasília marcam, juntamente com o projeto para o Museu de Caracas, uma nova etapa no meu trabalho profissional. Etapa que se caracteriza por uma procura constante de concisão e pureza, e de maior atenção para com os problemas fundamentais da arquitetura. Esta etapa, que representa uma mudança no meu modo de projetar e, principalmente, de desenvolver os projetos, não surgiu sem meditação. Não surgiu como fórmula diferente, solicitada por novos problemas. Decorreu de um processo honesto e frio de meu trabalho de arquiteto.[...] passaram a me interessar as soluções compactas, simples e geométricas; os problemas de hierarquia e de caráter arquitetônico; as conveniências de unidade e harmonia entre os edifícios e, ainda, que estes não mais se exprimam por seus elementos secundários, mas pela própria estrutura, devidamente integrada na concepção plástica original” (MACEDO 2016 apud NIEMEYER, 1958, p. 3-5)

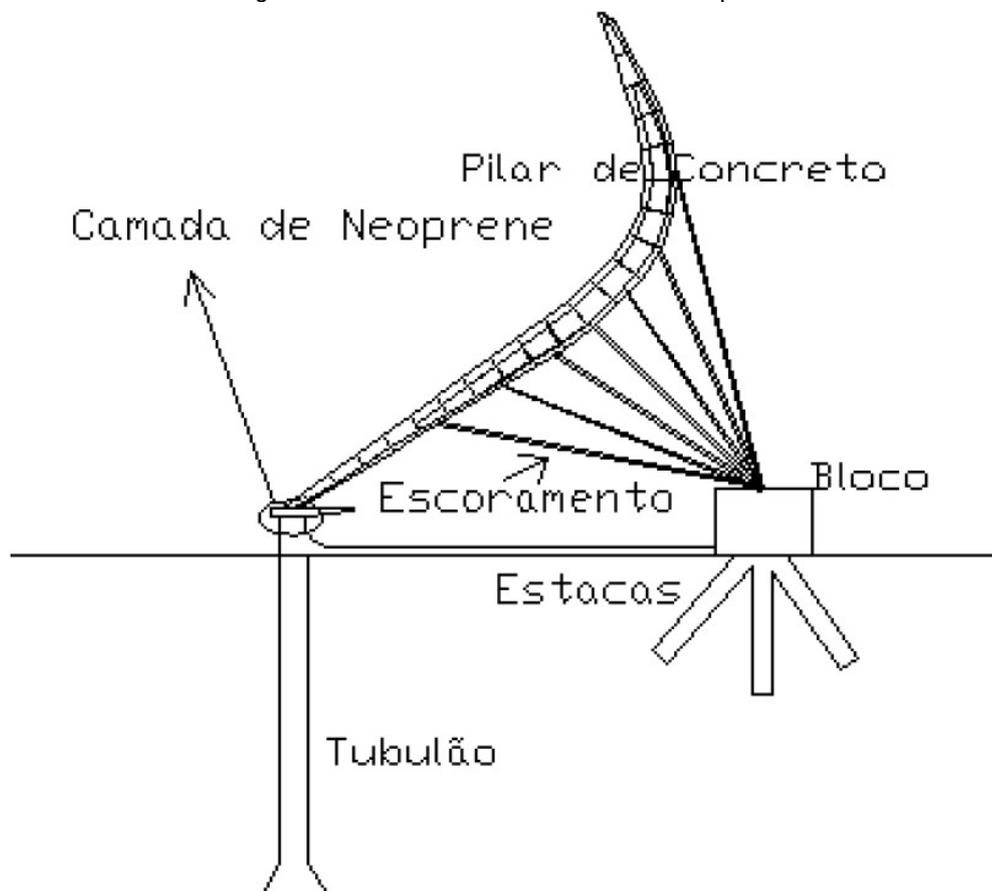
A partir da citação acima é interessante avaliar o espírito inovador, a busca de harmonia, a valorização da estrutura utilizada. Interessante ainda ressaltar o conjunto de pensamento dos envolvidos. A eterna parceria em busca da estrutura nova. A seguir segue uma citação explicando o funcionamento da estrutura.

“Trata-se de uma estrutura auto-equilibrada, composta por 16 pilares, dispostos, em planta, circunferencialmente. A sustentação é feita por dois anéis de concreto armado. O superior, com, aproximadamente, 6,8m de diâmetro, está localizado próximo do topo dos pilares, absorvendo os esforços de compressão. Esse anel passa por dentro dos pilares, tornando-se imperceptível aos olhos do observador. Já o inferior, com 60,0m de diâmetro, ao nível do piso, absorve os esforços de tração, funcionando como um tirante, reduzindo as cargas nas fundações, que recebem apenas esforços verticais. Esse anel só é visível no interior da catedral. A laje de cobertura não tem função estrutural mas apenas de vedação.” (PESSOA, 2002)

O sistema estrutural da Catedral apesar de inovador, visava otimizar a transmissão de esforços, com isso o anel inferior foi feito com o objetivo de permitir a transmissão somente de esforços verticais a fundação. O anel superior, que passa por dentro dos pilares, tem como objetivo absorver esforços de compressão. (PESSOA, 2002) Assim deve-se destacar que ambos os anéis agem de forma complementar, sendo a estrutura somente viável graças a utilização de ambos. Caso não houvesse anel superior as tensões sobre a estrutura seriam muito elevadas, dificultando atingir a estabilidade, sendo que o mesmo busca atribuir uma função de rigidez maior para estrutura, enquanto que o anel inferior tem como objetivo melhorar a distribuição dos esforços, tornando a estrutura da fundação mais simples e econômica, caso houvesse a transmissão de momentos para a mesma provavelmente não seria viável a solução adotada. Segundo Diogo Pessoa, a solução para a

fundação foi a utilização de 16 blocos ligados através de cintamento, apoiados em 16 grupos de tubulões, um para cada pilar como pode ser observado na figura 70.

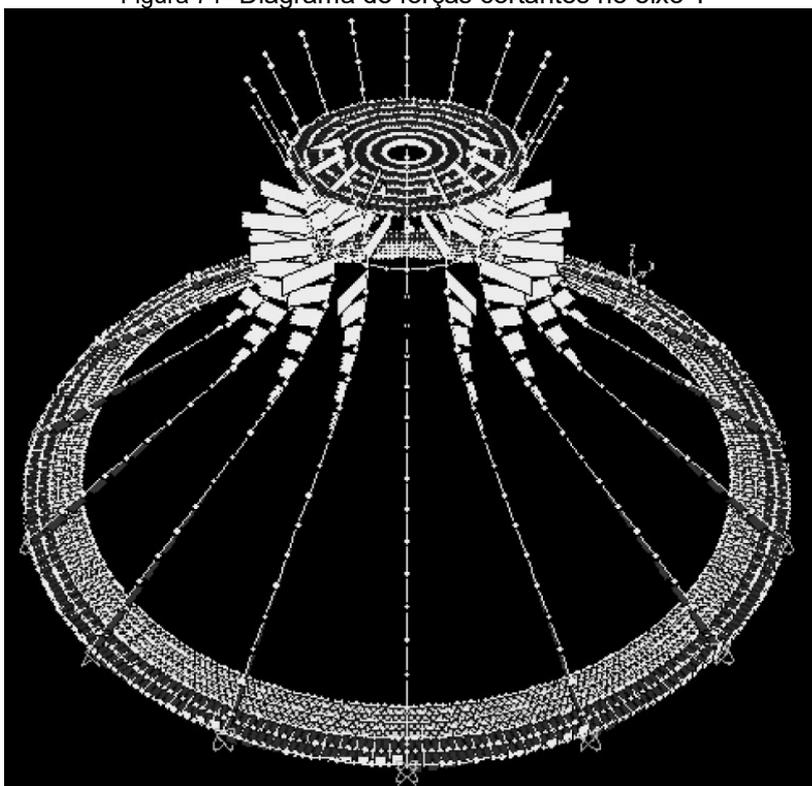
Figura 70- Estrutura de escoramento dos pilares



Fonte: Magalhães, 2001

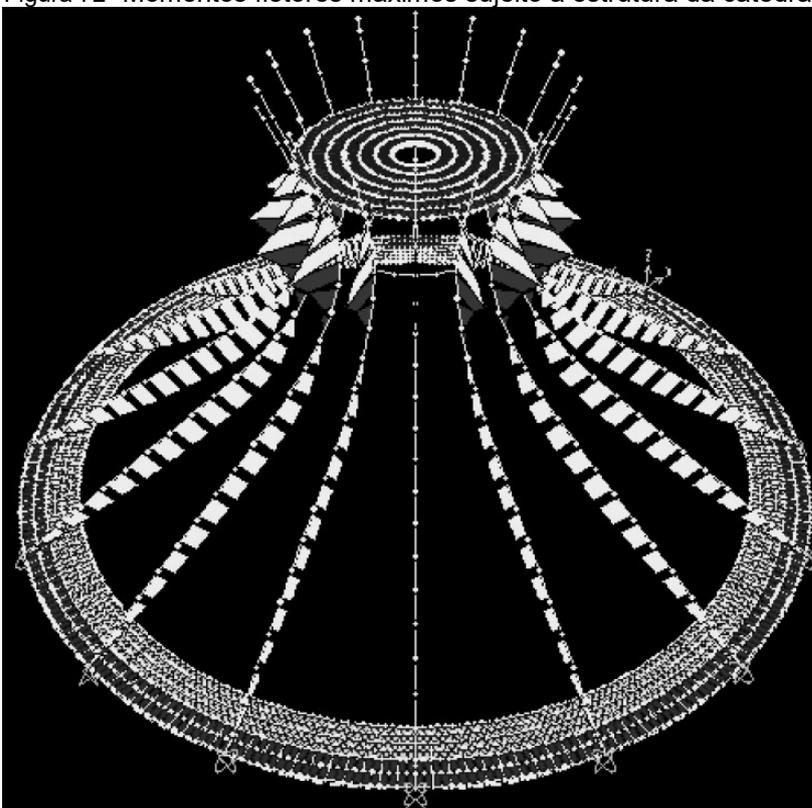
Pessoa fez algumas atribuições para realizar sua análise estrutural, como este trabalho visa somente o entendimento do sistema estrutural e não seu dimensionamento, serão expostos a seguir os gráficos que o mesmo obteve utilizando o software SAP 2000, após a exposição dos gráficos será feita uma análise do funcionamento da estrutura.

Figura 71- Diagrama de forças cortantes no eixo Y



Fonte: PESSOA 2002

Figura 72- Momentos fletores máximos sujeito a estrutura da catedral.



Fonte: PESSOA 2002

A partir dos dois gráficos expostos, deve se destacar que os locais aonde existem as maiores solicitações sobre a estrutura é justamente aonde se localiza o anel de sustentação em concreto armado superior. Esse anel, como já citado anteriormente visa a resistir a esforços de compressão assim como a atribuir uma rigidez maior ao conjunto dos pilares. A figura 73 mostra a estrutura da Catedral após a concretagem, deve se comparar a similaridade entre as solicitações nos gráficos de momento e esforço cortante com o formato real dos pilares. Niemeyer era bastante categórico sobre a importância da estrutura em sua obra: “quando a estrutura está feita, o edifício está pronto”.

Figura 73– Estrutura da catedral

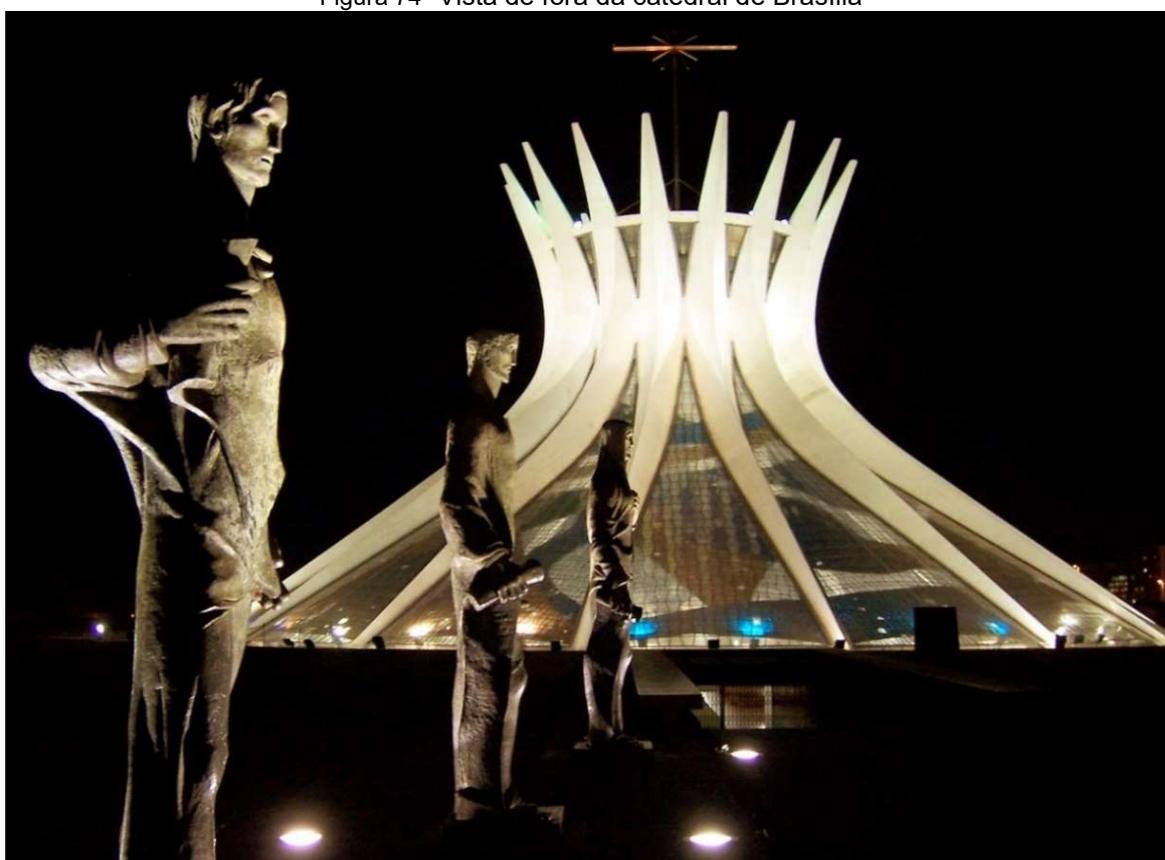


Fonte: < [http://adbr001cdn.archdaily.net/wp-content/uploads/2011/12/1323952454\\_marcel\\_gautherot.jpg](http://adbr001cdn.archdaily.net/wp-content/uploads/2011/12/1323952454_marcel_gautherot.jpg) > Acesso em 27 de maio de 2016

O resultado final gerado pode ser visto nas próximas duas imagens, à primeira vista de fora demonstra como ficou então o resultado final de todo esse processo

citado. Outro fator que deve ser muito bem destacado é que todo o processo da mesma, a harmonia sempre foi o maior objetivo. A combinação dos elementos estruturais, arquitetônicos e estéticos formam juntos um sistema. Com isso podemos ver na figura 75, como a abertura entre os pilares da estrutura possibilitou a entrada de luz que foi aprimorada graças a utilização dos vitrais de Marianne Peretti, resultando numa visão marcante. Assim podemos destacar a Catedral de Brasília como uma obra de arte da arquitetura e engenharia que foi capaz de unir os vários elementos para gerar este resultado.

Figura 74- Vista de fora da catedral de Brasília



Fonte: < [http://adbr001cdn.archdaily.net/wp-content/uploads/2011/12/1323952464\\_r\\_motti.jpg](http://adbr001cdn.archdaily.net/wp-content/uploads/2011/12/1323952464_r_motti.jpg) >

Acesso em 27 de maio de 2016

Figura 75- Visão interna, com destaque para a combinação de entrada de luz e os vitrais



Fonte: < <http://agenciabrasil.ebc.com.br/cultura/noticia/2016-04/brasilia-recebe-exposicao-de-marianne-peretti-criadora-dos-vitrais-da> Acesso em 27 de maio de 2016

## 7.2 A CÚPULA INVERTIDA DA CAMARA DOS DEPUTADOS

A Praça dos Três Poderes da capital federal, com certeza concentrar grandes marcos do desenvolvimento da arquitetura e engenharia nacional. A parceria já citada de Oscar Niemeyer com Joaquim Cardozo, talvez a colaboração mais bem estruturada entre engenheiro e arquiteto dentro da história brasileira, possibilitou a caracterização de Brasília. O Congresso Nacional em si merece um enorme destaque, no entanto este trabalho será focado na estrutura da Cúpula invertida da Câmara. A seguir uma citação retirada de INOJOSA, Niemeyer descrevendo como os ideais arquitetônicos, foram explorados no Congresso nacional.

*“Arquitetura não constitui uma simples questão da engenharia, mas uma manifestação de espírito, da imaginação e da poesia.*

No Palácio do Congresso, por exemplo, a composição se formulou em função desse critério, das conveniências da arquitetura e do urbanismo, dos volumes, dos espaços livres, da oportunidade visual e das perspectivas e, especialmente, da intenção de lhe dar caráter de monumentalidade, com a simplificação de seus elementos e a adoção de formas puras e geométricas. Daí decorreu todo o projeto do Palácio e o aproveitamento da conformação local, de maneira a criar no nível das avenidas que o ladeiam uma

monumental esplanada e sobre ela fixar cúpulas que deviam hierarquicamente caracteriza-lo.

Tivesse estudado o Palácio com espírito acadêmico, ou reocupado com as críticas, e ao invés dessa esplanada, que a muitos surpreende pela sua imponência, teríamos uma construção em altura.

[...] que hoje se estende em profundidade, além do edifício, acima da esplanada entre as cúpulas, abrangendo a Praça dos Três Poderes e os demais elementos arquitetônicos que a compõem, somando-se a plasticamente e tornando, assim, a perspectiva do conjunto muito mais rica e variada.

A cúpula da Câmara dos Deputados demandava um estudo cuidados que a deixasse com que apenas pousada sobre a esplanada, isto é, a cobertura do prédio; o mesmo acontecia com esta última, cujo topo é tão fino que ninguém imagina constituir, internamente a galeria do público que liga os dois plenários. Internamente, o projeto procura criar os grandes espaços livres que devem caracterizar um palácio, para isso utilizando elementos transparentes que evitam transforma-los em pequenas áreas.

*A forma arquitetônica – mesmo contrariando princípios estruturais – é funcional quando cria beleza e se faz diferente e inovadora* (INOJOSA apud Niemeyer, citado em “Sede do Congresso Nacional)

Destaca-se a maneira inovadora como Niemeyer via as possibilidades arquitetônicas, a seguir segue um croqui de autoria do mesmo. Neste croqui é interessante ressaltar a leveza que se buscava atingir com a cúpula invertida, como a mesma se sobrepunha de maneira singular. Assim trazendo o simbolismo de o plenário estar aberto ao povo (IOJOSA, apud MOREIRA 2007) sendo a poesia arquitetônica, tão significativa para o arquiteto, como já citada.

Figura 76– Croqui feito por Niemeyer do Congresso Nacional



Fonte: <<https://peganarquitectura.files.wordpress.com/2013/01/congresso-nacional-1958-brasc3adlia5.jpg>> Acesso em 11 de junho de 2016

O comprometimento e a dedicação de Joaquim Cardozo, que conseguia entender e deslumbrar os objetivos de Niemeyer, após muita dedicação em busca de

uma solução o mesmo liga a procura do arquiteto no meio da noite para anunciar: “Consegui a tangente que vai deixar a cúpula da Câmara solta sobre a laje, como você preferia” (MACEDO apud NIEMEYER, 1980, p. 96) O sistema estrutural proposto pelo engenheiro, assim como sua explicação, pode ser visto a seguir:

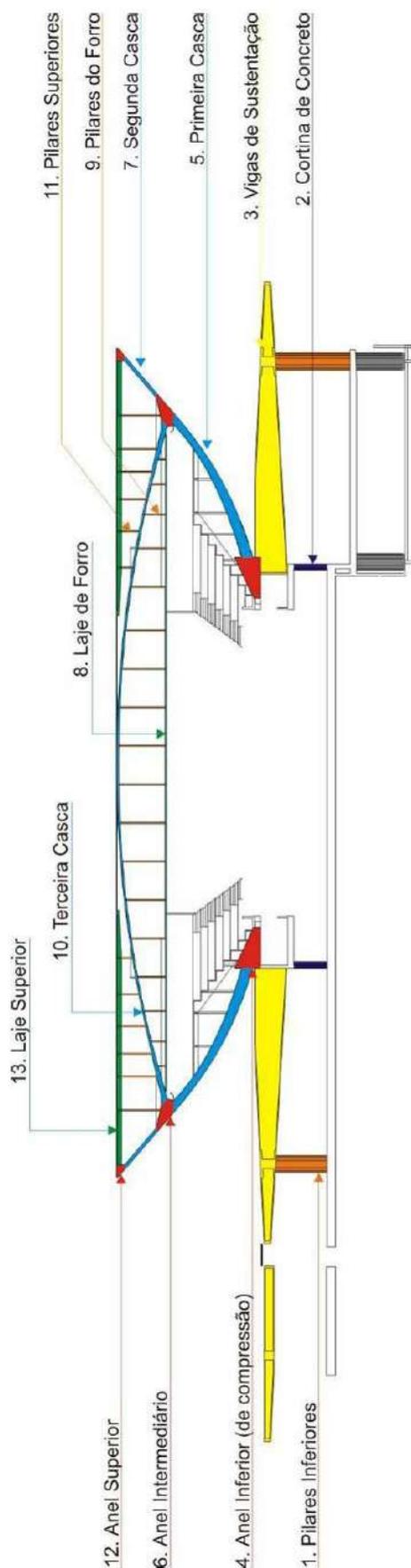
“A parte correspondente a estrutura de concreto armado, utilizadas para manter o equilíbrio desses edifícios de Brasília oferece aspectos novos; a cúpula correspondente ao Senado, no Parlamento, é um paraboloide de revolução apoiado sobre as vigas da grande plataforma da cobertura; a que corresponde no mesmo edifício, à Câmara dos Deputados, é um conjunto constituído – enumerando-se de baixo para cima – de uma casca limitada pela superfície de uma zona elipsoide de revolução, abaixo do equador; tangente a esta primeira está uma segunda, limitada pela superfície de um tronco de cone invertido; no ponto de tangência das duas, para sustentar o forro do plenário da Câmara, insere-se uma terceira casca limitada por uma calota esférica. Não só a que tem a forma de uma zona elipsoide, como a de calota esférica, ofereceram várias dificuldades, sendo que esta última extremamente rebaixada (relação flexa/corda de 1/14) foi calculada pela fórmula de Gravina este tipo de casca.” (INOJOSA apud, CARDOZO)

A formação do sistema estrutural é muito complexa, sendo necessário a combinação de diversos elementos, com o objetivo de se complementarem, trazer estabilidade a estrutura e fazer com que a transferência de esforços nas mesmas seja feita de maneira mais simples e eficiente possível. A figura 77 a seguir irá mostrar um corte feito por INOJOSA, após esse corte será explicado o funcionamento do sistema estrutural da cúpula invertida, que segundo IOJOSA é constituída por 13 elementos listados a seguir.

1. Pilares Inferiores que sustentam a grande laje de cobertura do volume horizontal que une as duas casas- Senado e Câmara dos Deputados;
2. Cortinas de Concreto, que formam as paredes do salão do Plenário, no mesmo nível dos pilares inferiores;
3. Vigas de Sustentação da grande laje;
4. Anel Inferior de compressão, onde apoia-se a estrutura da cúpula e abre-se o vão na grande laje para o plenário;
5. Primeira Casca, limitada pela superfície de uma “zona de elipsoide de revolução, abaixo do equador” onde está apoiada a arquibancada da galeria do plenário;
6. Anel Intermediário, no ponto de tangência entre a primeira e segunda casca, onde apoia-se a estrutura da cobertura;
7. Segunda Casca, uma superfície de um tronco de cone invertido;

8. Laje Forro;
9. Pilares do Forro, que funcionam como tirantes de sustentação da laje do foro;
10. Terceira casca, uma cúpula côncava formada por uma calota esférica;
11. Pilares Superiores, que apoiam a laje superior na terceira casca;
12. Anel Superior, um reforço na extremidade da segunda casca onde se liga à laje superior
13. Laje Superior, uma laje circular plana com um vazio também circular em seu centro, por onde aparece a terceira cúpula.

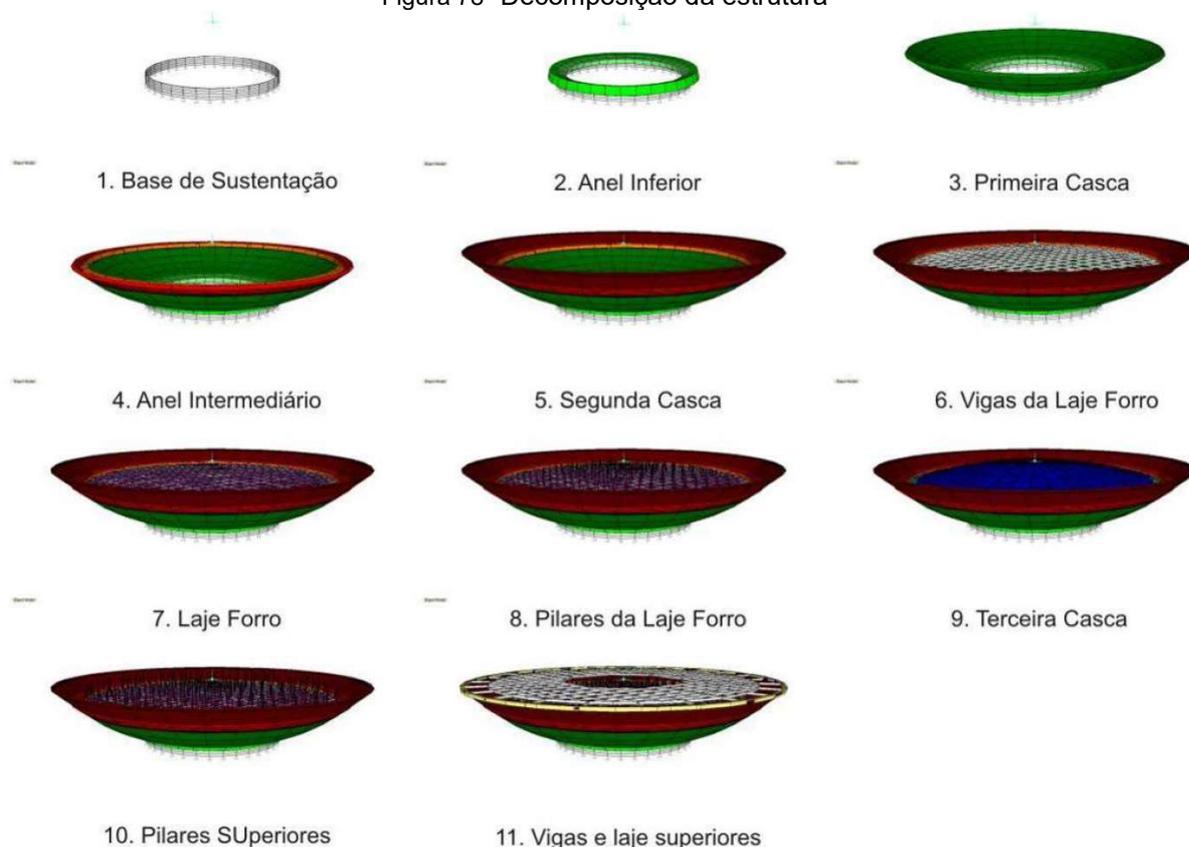
Figura 77– Corte transversal Da Câmara dos Deputados



Fonte: INOJOSA 2010

A solução adotada por Cardozo para a materialização da Cúpula invertida tem algumas semelhanças a da Catedral, foi utilizado um anel sujeito a compressão novamente, porém neste caso o mesmo está localizado na parte inferior da estrutura, próximo a base. Enquanto que o anel intermediário e o anel superior funcionam mais como anel de transição e reforço respectivamente, o primeiro está localizado no ponto de tangência entre a Primeira Casca e a segunda casca enquanto que o segundo realiza um reforço na extremidade da segunda casca e está ligado à Laje Superior. Destaca-se que os anéis são pontos de equalização das forças na estrutura, necessários para uma distribuição uniforme, aliviando possíveis momentos gerados.

Figura 78- Decomposição da estrutura

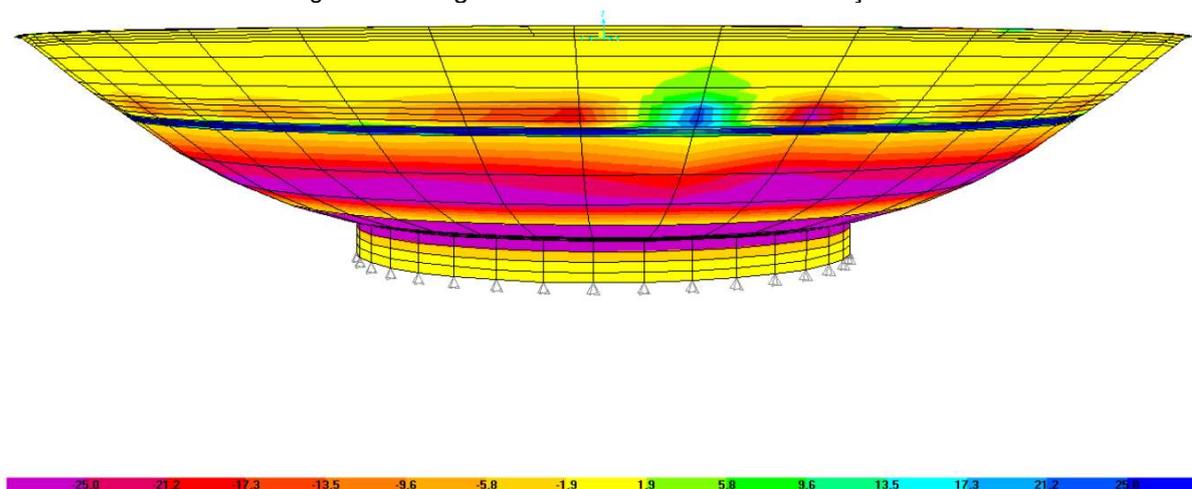


Fonte: INOJOSA 2010

As solicitações de momento sobre a estrutura podem ser vistas nos diagramas a seguir, note que sobre a Primeira Casca e Segunda Casca as solicitações são mais uniformes a medida que vai se aproximando dos anéis a solicitações sobre a estrutura aumenta, reforçando a necessidade dos anéis nesses pontos. Como já foi visto as solicitações sobre uma cúpula são variáveis na estrutura, por isso este sistema estrutural permite uma variação de espessura. No caso da Cúpula invertida a

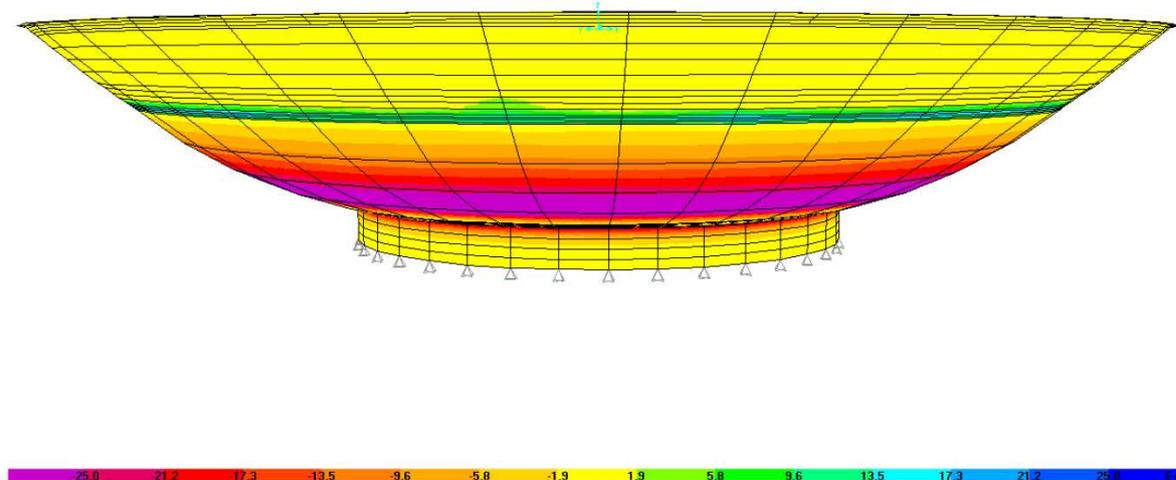
espessura da primeira casca é variável, sendo a mesma disposta de maneira semelhante as solicitações de momento, com isso a espessura é maior na sua base e vai diminuindo a medida que se avança.

Figura 79– Diagrama de Momento Fletor na direção X



Fonte: INOJOSA 2010

Figura 80- Diagrama de Momento Fletor na direção Y

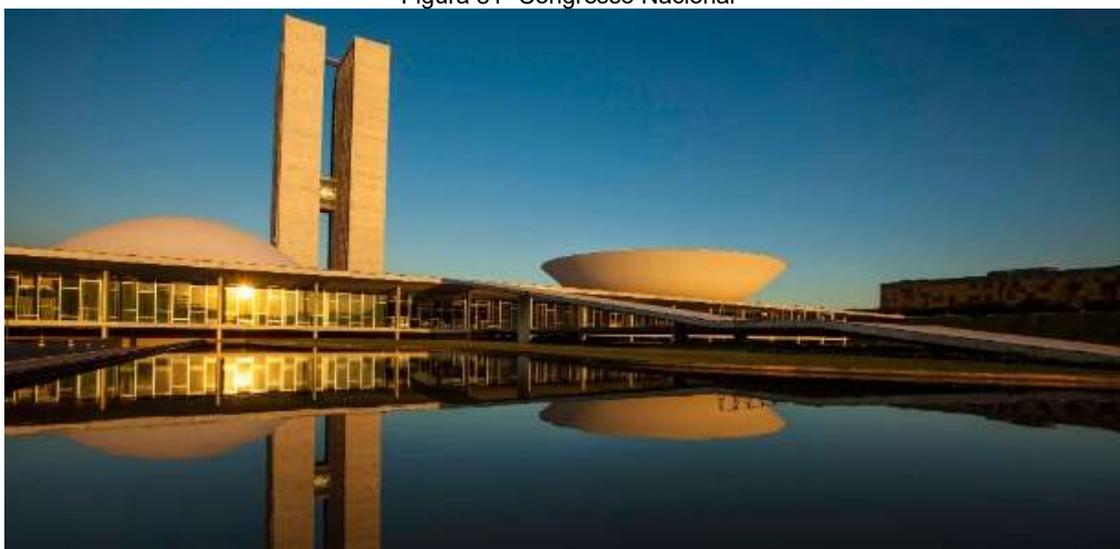


Fonte: INOJOSA 2010

A partir da Análise das solicitações sujeitas a Cúpula invertida, deve-se destacar como o material utilizado junto ao sistema estrutural escolhidos, combinados em harmonia, utilizando o máximo de ambos. A plasticidade da estrutura é possível somente com estudo detalhado e o comprometimento dos profissionais envolvidos. A seguir uma citação de Niemeyer que demonstra como o mesmo valorizava a estrutura em sua obra.

“[...] nos palácios de Brasília, essa seria minha escolha, caracterizando-os pelas próprias estruturas, dentro das formas concebidas. Com isso, detalhes menores que compõem a arquitetura racionalista se diluiriam diante da presença dominadora das novas estruturas. Se examinarem o Congresso de Brasília ou os palácios nela realizados, verão que, *terminadas suas estruturas, a arquitetura já estava presente.*” (MACEDO apud NIEMEYER, 1998, p. 265).”

Figura 81- Congresso Nacional



Fonte: < <http://viagem.uol.com.br/guia/brasil/brasil/aatracoes/congresso-nacional/> > Acesso em 28 de junho de 2016

### 7.3 RESIDÊNCIA JOSÉ DA SILVA NETTO (JSN)

A Residência José da Silva Netto foi imaginada e projetada pelo arquiteto João Filgueiras Lima, também conhecido como Lelé, e teve como responsável da obra o engenheiro civil Guilherme Silva Filho. Arquiteto inovador, Lelé era bastante conhecido por sua capacidade de explorar as formas, utilizando muito o concreto armado como material construtivo. Com o objetivo de entender o funcionamento estrutural serão feitas alterações na estrutura, alterando assim seu comportamento e avaliando sua eficiência. A mesma também será avaliada sobre o ponto de vista da arte estrutural, como a plasticidade dos elementos se uniram harmonicamente, assim apesar da rigidez da estrutura a mesma conseguiu obter uma esbeltez, atribuindo leveza estrutural a mesma.

A estrutura principal é composta por dois grandes pórticos em concreto armado, conectados por vigamentos longitudinais que sustentam a laje do segundo pavimento que está suspensa por cabos de aço. (VILELA JÚNIOR, 2011) Neste trabalho será feita avaliação qualitativa do funcionamento da estrutura dos pórticos da residência.

Figura 82- Residência JSN



Fonte: <<http://www.archdaily.com.br/br/603479/obras-do-lele-por-joana-franca/537f9265c07a80d8590002bc>> Acesso em 12 de junho de 2016

Para se avaliar o funcionamento qualitativo, usou-se como base a representação do projeto arquitetônico feito por Vilela Júnior que pode ser visto abaixo.

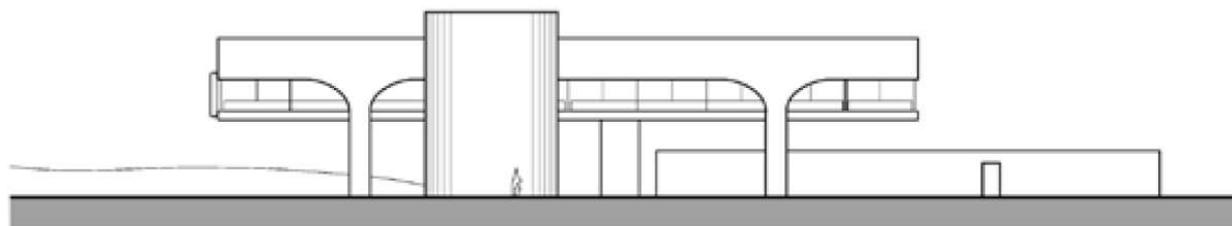
Figura 83- Planta do pavimento



planta pav. superior

Fonte: VILELA JÚNIOR, 2011

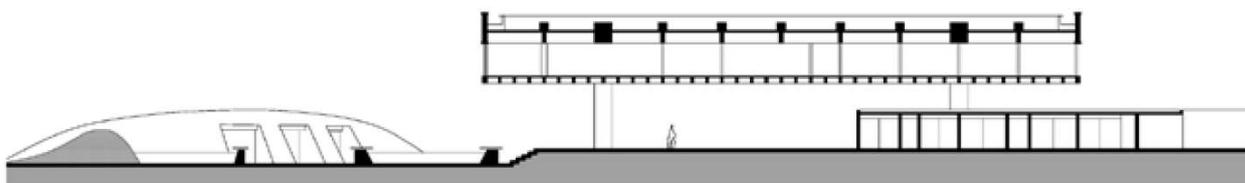
Figura 84- Representação Fachada



fachada SO

Fonte: VILELA JÚNIOR,2011

Figura 85 – Representação corte

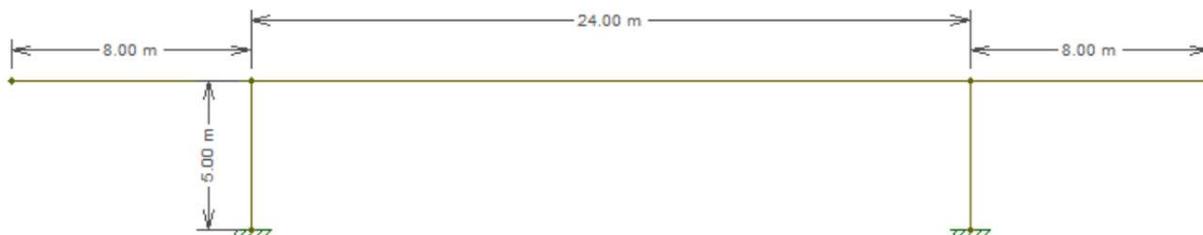


corte AA

Fonte: VILELA JÚNIOR,2011

A partir das representações acima, com as escalas próprias, e da pesquisa foi criada a representação do pórtico no programa F-Tool com as seguintes dimensões. Representando a situação do projeto, segue a situação 1.

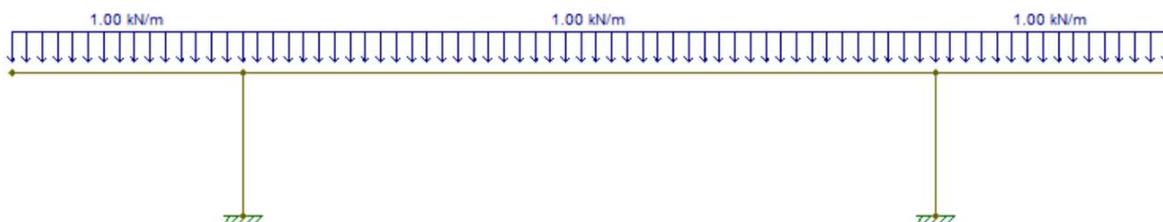
Figura 86- Representação da estrutura feita no F-Tool, Situação 1



Fonte: Aatoria do autor

Como o objetivo é entender o comportamento estrutural de maneira qualitativa foi atribuída uma carga de 1kN/m distribuída de maneira uniforme pela estrutura, para assim entender como a mesma se comporta após algum carregamento.

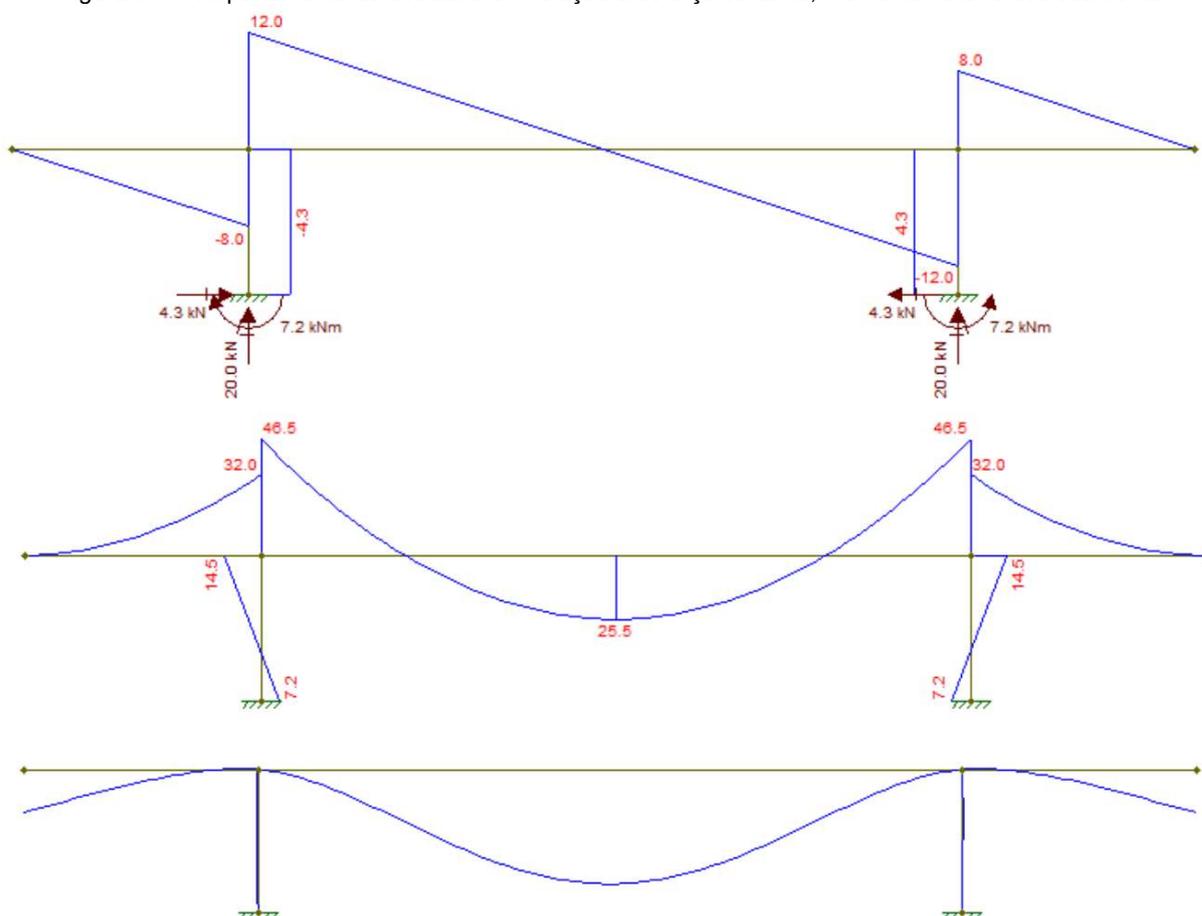
Figura 87- Representação de distribuição uniforme dos carregamentos sobre a estrutura



Fonte: Aatoria do autor

A partir da distribuição acima, utilizando o programa, obteve-se o comportamento desse arranjo estrutural em relação a força cortante, o momento e representação do deslocamento da estrutura, que pode ser visto na figura 80.

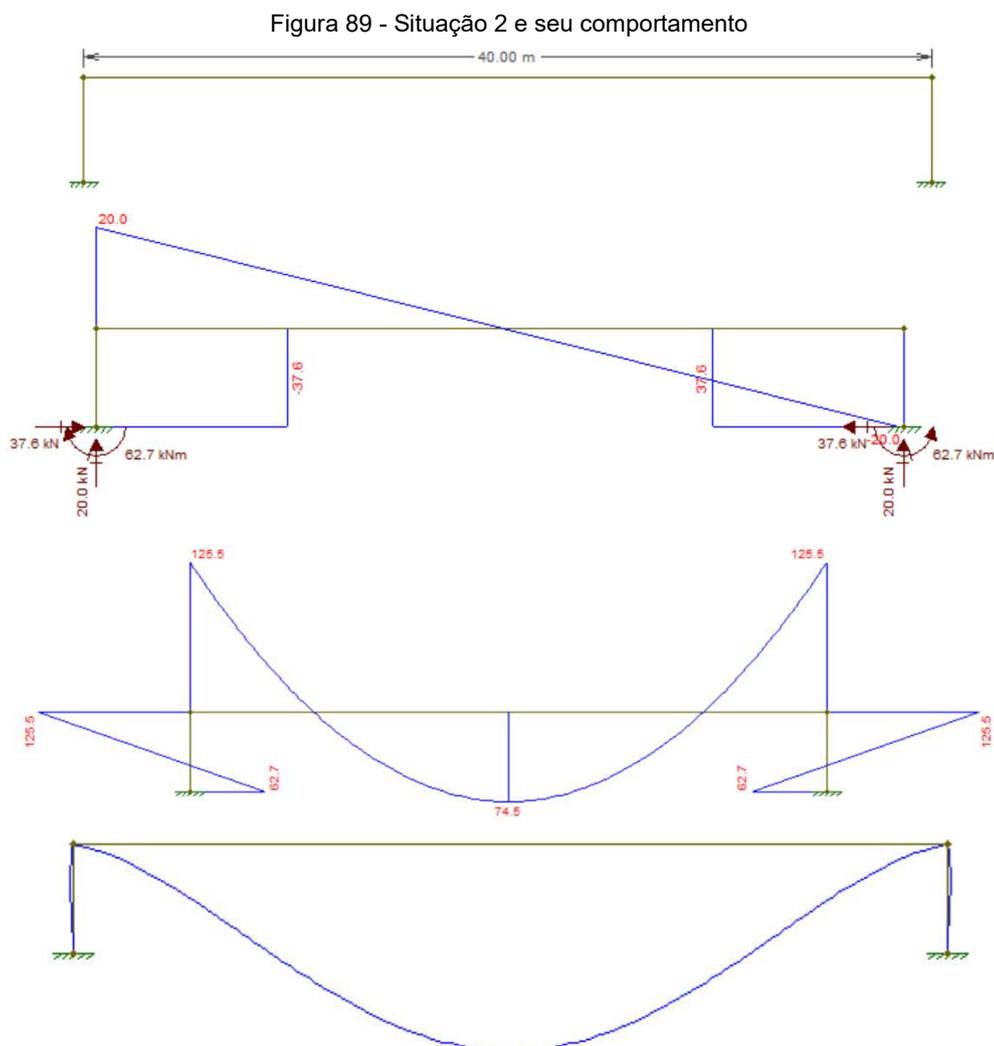
Figura 88- Comportamento da estrutura em relação a esforço cortante, momento fletor e deslocamento



Fonte: Aatoria do autor

A partir da configuração acima pode ser visto que as maiores solicitações sobre a estrutura estão localizadas nos pontos acima da estrutura e no meio do vão de 24 metros. Assim, os deslocamentos nesses pontos são maiores, devendo a estrutura em si resistir aos esforços. Para se entender melhor a dependência da

estrutura em relação ao balanço, será feito um rearranjo estrutural, como primeira alternativa será feita um afastamento entre os pilares, cada pilar será deslocado 8 metros para o lado do balanço, com isso não haverá a solicitação de balanço sobre a estrutura.

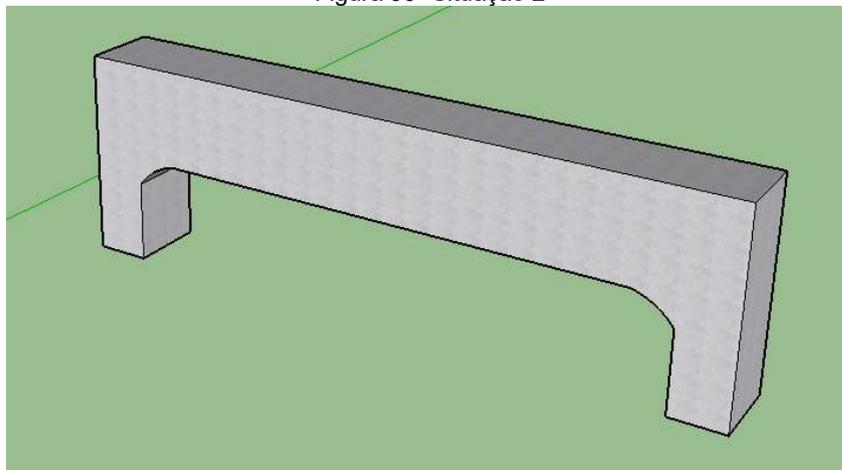


Fonte: Aatoria do Autor

Após observar o comportamento da situação 2 deve se destacar que nem sempre o arranjo estrutural mais simples e de aparente mais fácil execução é o mais eficiente. Como pode ser observado os momentos que a estrutura está solicitada cresceram muito, assim como a força cortante, acarretando uma deformação muito grande no vão. A deformação sujeita a estrutura, provavelmente acarretaria uma técnica mais elaborada em sua execução, a princípio este arranjo mais simples não é funcional, a não ser eu se mude a tecnologia empregada, uma alternativa interessante seria a protensão das armaduras, no entanto essa alternativa aumentaria os esforços

de compressão sobre os pilares além de ter um custo mais elevado para sua execução. Caso seja mantida a tecnologia empregada, pode se imaginar a situação 2 da seguinte maneira.

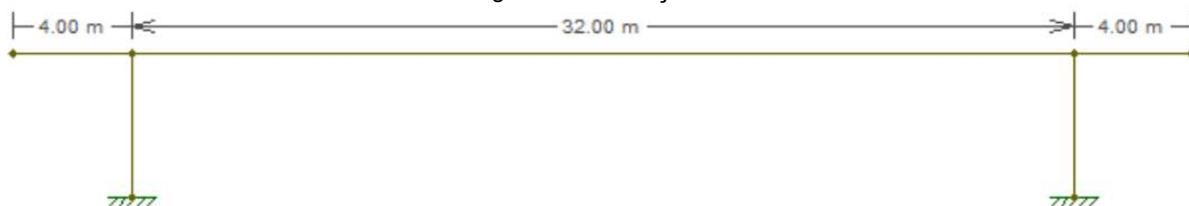
Figura 90- Situação 2



Fonte: Autoria do autor

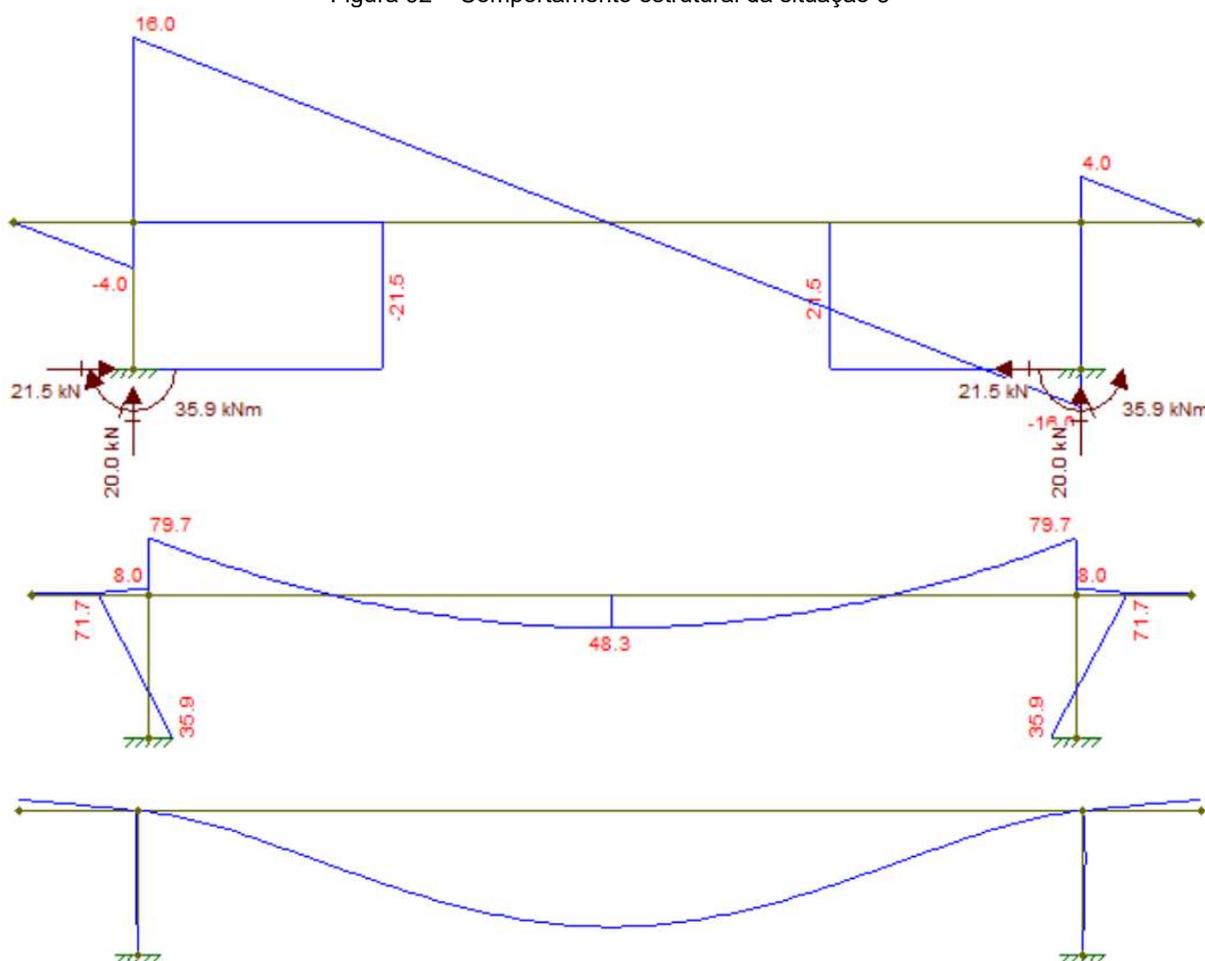
Sob a perspectiva da arte estrutural, este arranjo mostrou-se muito ineficiente, perde-se a leveza, a estrutura se torna rígida atribuindo um ar pesado a mesma. Com isso em mente foi imaginada outra possível alteração estrutural. É interessante avaliar todo o funcionamento estrutural, como pode ser visto acima para que toda a estrutura trabalhe de maneira similar, o balanço é uma boa ferramenta. A situação 3 retrata uma nova situação, os pilares estão em pontos intermediários, entre a situação 1 e a situação 2.

Figura 91- Situação 3



Fonte: Autoria do autor

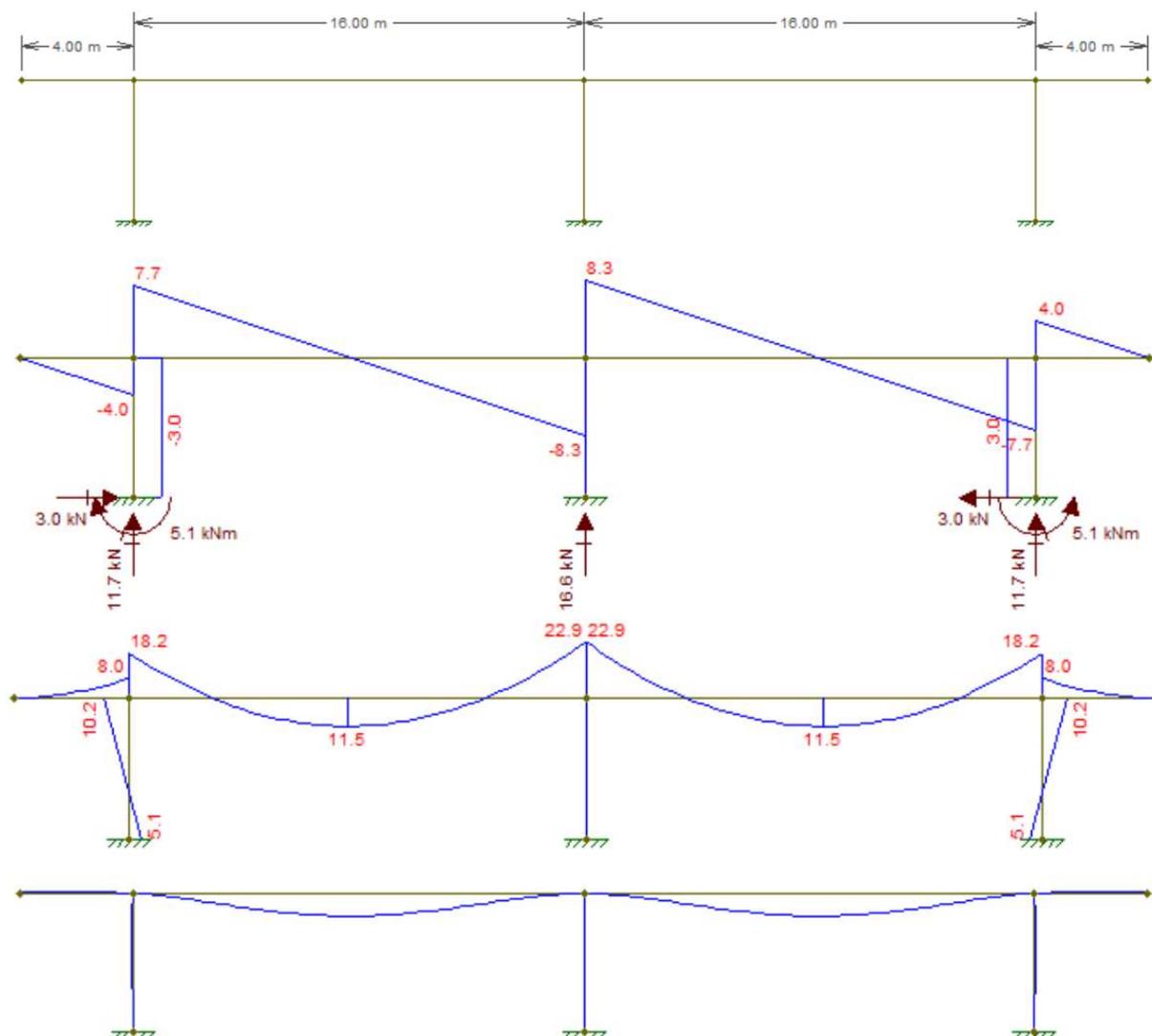
Figura 92 – Comportamento estrutural da situação 3



Fonte: Autoria do autor

A partir desse novo arranjo, notou-se que as solicitações estruturais devido ao balanço foram reduzidas, no entanto os momentos máximos que a estrutura está sujeita ainda são maiores em relação a primeira. Assim conclui-se que os deslocamentos da estrutura devido ao balanço diminuíram, essa redução no entanto não é funcional, pois a solicitação do vão aumentou, tornando o sistema menos eficiente que o executado, apesar de ser mais eficiente do que a situação 2. Outra alternativa interessante seria colocar-se um pilar entre os vãos, Essa alteração com pilar central e um balanço menor, junto ao seu novo comportamento estrutural pode ser visto a seguir.

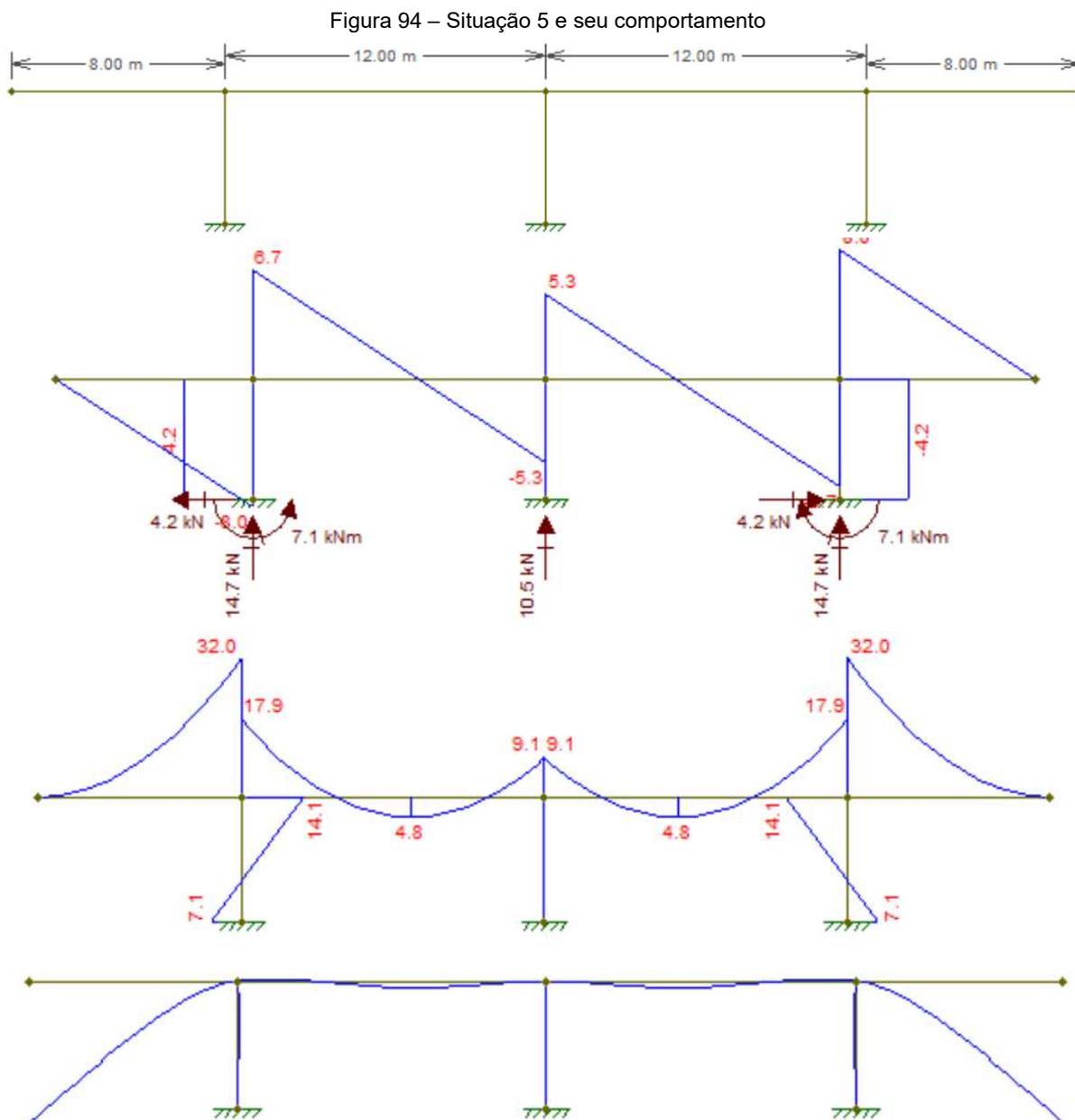
Figura 93-Situação 4



Fonte: Autoria do autor

O quarto arranjo obtido provavelmente diminuiria bastante as solicitações sobre os deslocamentos da viga, o pilar central estaria sujeito somente a um esforço de compressão, lembrando que o concreto é muito eficiente a resistir a este tipo de esforços. A partir da alteração estrutural de se acrescentar um pilar novo no centro da estrutura, foi possível reduzir consideravelmente o possível deslocamento estrutural, no entanto tendo em vista que o objetivo da arte estrutural é se utilizar o máximo dos elementos estruturais e com isso atribuído mais beleza leveza a obra, seria interessante do ponto de vista da arte estrutural avaliar como a estrutura original iria se comportar caso se mantivesse os dois balanços e se acrescentasse um pilar central. Como visto acima após acrescentar esse novo elemento a estrutura se comportou de maneira mais uniforme e esta alteração poderia acrescentar mais leveza ao pórtico

obtido, uma vez que as solicitações diminuiriam muito. O quinto arranjo que se baseia na locação de pilar original com um pilar central pode ser visto a seguir.

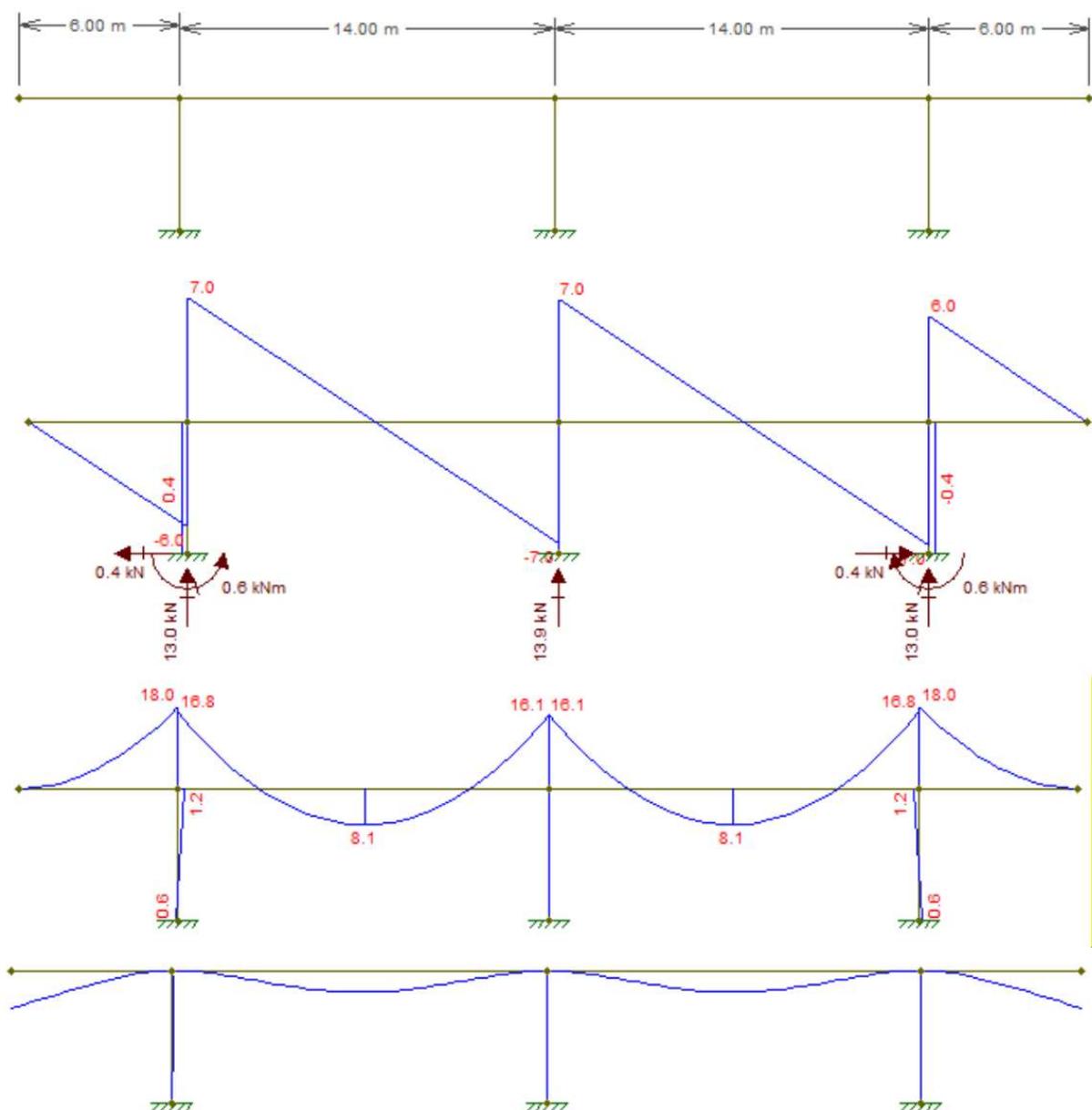


Fonte: A autoria do autor

Este novo arranjo se mostrou muito eficiente na concepção estrutural e nos possíveis deslocamentos da parte central, porém mais uma vez a parte que se situa em balanço representa um problema. Como a utilização de balanço é muito conveniente do ponto de vista arquitetônico, estético além de ser uma das particularidades dessa estrutura, foi elaborada outra proposta, buscando atingir o equilíbrio e equalizar a distribuição de forças. Quanto mais uniforme for o

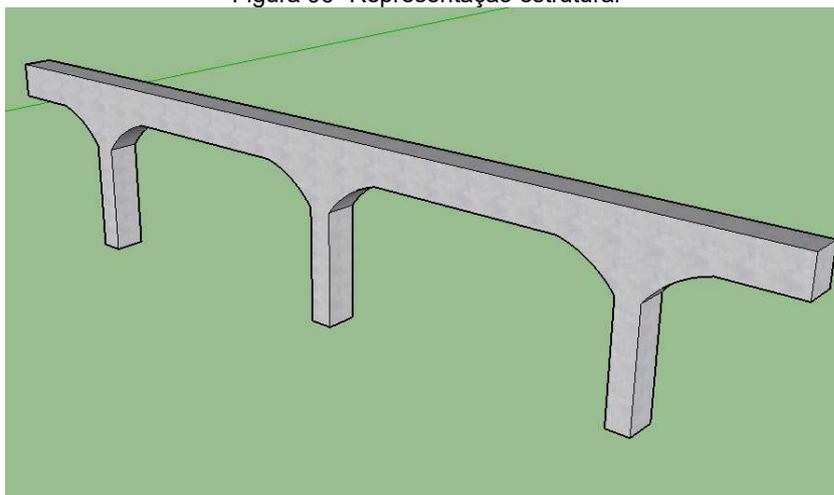
deslocamento que uma estrutura está sujeita mais eficiente é o sistema estrutural. Com o objetivo de se atingir esta estabilidade e o melhoramento da estrutura foi elaborado mais um modelo de uso de pórtico, na figura a seguir, esse modelo visa alcançar mais uniformidade nos deslocamentos. Por fim demonstrou-se um modelo eficiente para a dissipação dos esforços.

Figura 95 – Situação 6



Fonte: Autoria do autor

Figura 96- Representação estrutural

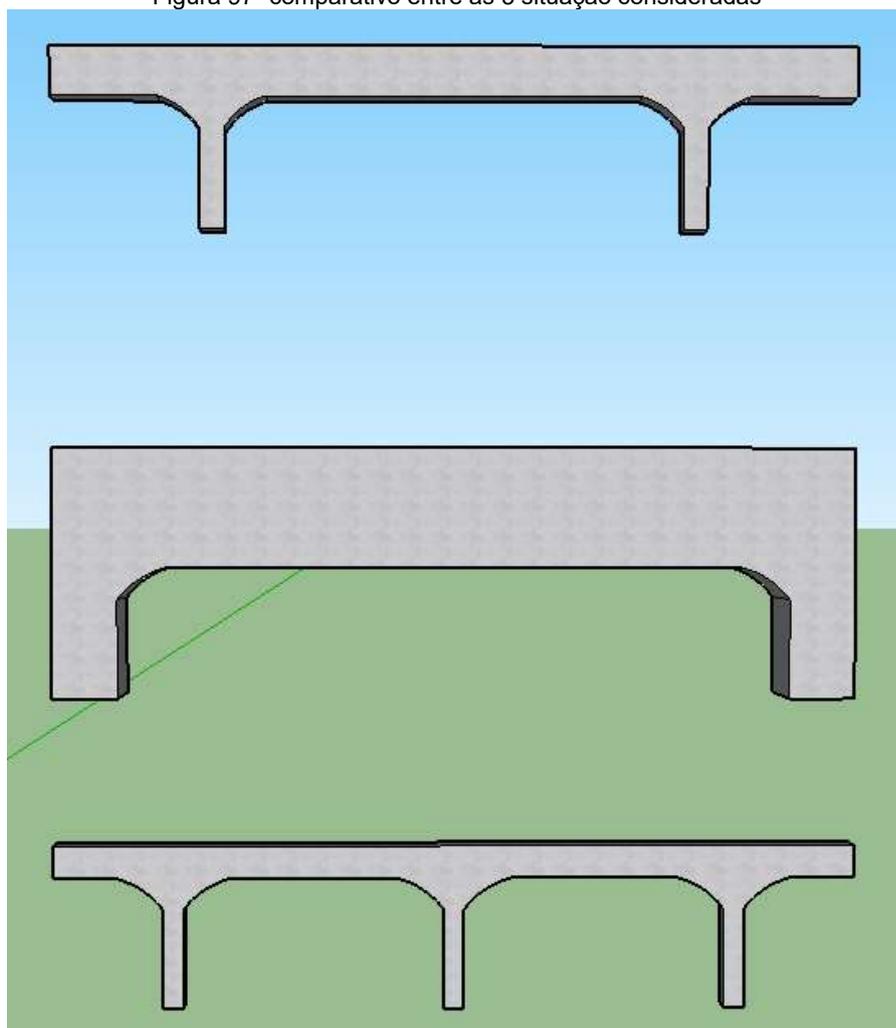


Fonte: A autoria do autor

Em busca da eficiência estrutural, talvez o arranjo mais eficiente tenha sido o último, tendo em vista que as solicitações sobre a estrutura estão distribuídas de maneira mais uniforme. Os deslocamentos da mesma estão em equilíbrio, tal arranjo provavelmente possibilitaria uma maior eficiência estrutural, do ponto de vista de disposição de armaduras, o balanço está com deslocamento mais equivalente ao restante da estrutura enquanto que o pilar acrescentado ao meio fez com que a viga central não fosse solicitada a ponto de se exceder. Este possível arranjo resultaria numa estrutura mais esbelta, sua execução seria mais simples, no entanto a se comparada a estrutura original ter-se-ia uma descaracterização. Para este tipo de estrutura também existia possibilidade de se trabalhar como viga pilar, porém as dimensões da viga ficariam muito superiores em relação as executadas, por se tratar de uma descaracterização muito grande foi optado por não realizar este tipo de abordagem.

Os sistemas estruturais mais eficientes para a estrutura foram o primeiro, o executado, e o último. Assim pode se concluir que houve um estudo em conjunto, detalhado sobre a distribuição e que o sistema escolhido e executado do ponto de vista da ótica da Arte estrutural é o mais eficiente. O material utilizado, o concreto armado também merece destaque, tendo em vista que o mesmo foi de extrema importância para a estrutura. No estudo de caso, assim como nos outros, os envolvidos conseguiram aproveitar de maneira muito eficiente o conjunto formado por aço e concreto, se complementando. A descaracterização citada pode ser muito bem visualizada na imagem a seguir.

Figura 97- comparativo entre as 3 situação consideradas



Fonte: Aatoria do autor

Como já foi abordado, houve um estudo sobre a concepção executada. A relação utilizada na estrutura é a relação ótima para elementos em balanço. O balanço mais eficiente deve ser de 20% do vão total da estrutura, neste caso essa relação foi utilizada em ambos os lados, tem-se em mente que para se utilizar da maneira mais eficiente o arranjo estrutural o vão os pilares devem estar distantes entre si em 60% do tamanho do vão. O estudo detalhado desse empreendimento deixou nítido o conhecimento dos envolvidos sobre a relação ótima de uso de um sistema estrutural, assim utilizando o pórtico atirantado da melhor maneira possível.

## 8 CONCLUSÃO

A história do concreto, assim como a história das edificações tem vários pontos de congruência, aonde as mesmas se entrelaçam. A necessidade por habitações é inerente ao ser humano, é incrível como o mesmo evolui em busca de melhor qualidade. Observações empíricas, desenvolveram-se em cálculos, formulando teoria sobre materiais e sobre sistemas. A evolução não para, assim como os sistemas mudam, suas combinações podem mudar a qualquer instante a partir de uma nova ideia.

No desenvolvimento desse trabalho notou-se como a relação entre os profissionais é de extrema importância. Assim destacando profissionais, que tinham visão ampla, “cabeça aberta” capazes de vislumbrar as possibilidades. O conhecimento não pode ser parado, profissionais capazes de vislumbrar novas possibilidades, tornam-se diferenciados. Tem-se cada vez mais destaque no mercado de edificações dos profissionais híbridos, aqueles engenheiros com visão de arquiteto assim como arquitetos detalhistas como engenheiros.

Emilio Baumgart é uma grande influência histórica da engenharia nacional, em um tempo aonde estruturas em concreto no Brasil estavam apenas “engatinhando” o mesmo bateu o recorde do maior arranha-céu até então. Joaquim Cardozo, homem que buscava o conhecimento completo, valorizava o entendimento como um todo, dando extrema importância a forma imaginada, buscando soluções criativas e muitas vezes nunca antes vistas, tornando o concreto um material artesanal. Oscar Niemeyer e João Filgueiras Lima eram arquitetos visionários, porém com visões distintas sobre aspectos da abordagem estrutural. Lelé tinha uma visão mais prática e objetiva, buscava ser o mais eficiente possível, enquanto que Niemeyer buscava criar suas esculturas, obras tão belas quanto funcionais.

Ficou nítido ao realizar o estudo de caso sobre a Catedral assim como no estudo sobre Cúpula invertida, como a harmonia entre profissionais consegue trazer a excelência. Cardozo perdia noites pensando em como tornar os traços de Niemeyer reais, assim como o arquiteto destacava a importância do engenheiro. Nestes estudos de caso foi possível observar como uma obra da engenharia funciona como um organismo vivo, várias partes se relacionam, se encaixam como peças de um quebra cabeça, assim foi visto como não existem limites para a abordagem estrutural. Combinações diversas entre os sistemas podem existir, soluções novas e criativas

buscando trazer a máxima eficiência na distribuição dos esforços aos quais a estrutura está submetida.

A Residência José da Silva Netto, também foi estudada, de maneira mais qualitativa, no entanto. Deste estudo deve-se destacar como a mente do arquiteto tinha total consciência do funcionamento estrutural. A arte estrutural ligada a eficiência estrutural, uma combinação rara, porém comum nas obras aqui estudadas. Assim foi possível observar como Lelé conseguiu obter um uso consciente dos elementos de balanço em sua obra, sem que a estrutura ficasse excessivamente rígida, também mantendo a leveza estrutural, pilares e vigas dimensionados de maneira que pudessem ter o máximo de esbeltez com o uso somente de dois apoios.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

CARVALHO, JOÃO DIRCEU DE NOGUEIRA. **Sas origens e desenvolvimento do concreto.**

CARVALHO, ROBERTO CHUST. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo NBR 6118:2003.** 3ª ed. São Carlos, 2013.

CASTRO JÚNIOR, FRANCISCO AFONSEO DE. **Além de L sobre 10: diretrizes para o lançamento estrutural arquitetônico,** Brasília 2014

CLÍMACO, JOÃO CARLOS TEATINI DE SOUZA. **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação.** 2ª ed. Revisada, 1º reimpressão. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2013.

DE GREGORIO, MARCOS HENRIQUE RITTER. **Análise de obra construída: O museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro sob a ótica da Arte Estrutural.**

ENGEL, HEINO. **Sistemas estruturais.** 1997

FONSECA, ROGER PAMPONET DA. **“Escritório Technico Emílio H. Baumgart”:** **Escola do Concreto Armado e a Arquitetura Brasileira.** Brasília, 2016

FONSECA, ROGER PAMPONET DA. **A ponte de Oscar Niemeyer em Brasília: Construção, Forma e Função Estrutural.** Brasília, 2007

FRANJDLICH, RAFAEL URANO. **Um panoramda da vida e obra de João Filgueiras Lima, Lelé.**

INOJOSA, LEONARDO DA SILVEIRA PIRILLO. **O Sistema Estrutural na Obra de Oscar Niemeyer,** Brasília 2010

INOJOSA, LEONARDO S. P. **O sistema estrutural na obra de Oscar Niemeyer em Brasília** / Leonardo S. P. Inojosa e Marcio A. R. Buzar

ISAIA, G.C. **Concreto: Ciencia e Tecnologia.** 1ª ed. São Paulo, 2011

KAEFER, LUÍS FERNANDO. **A Evolução do Concreto Armado,** 1998

KRIPKA, MOACIR. **Análise estrutural para engenharia civil e arquitetura: estruturas isostáticas.** 2ª ed. São Paulo, 2011.

LOPES, JOÃO MARCOS. **Arquitetura da engenharia, ou Engenharias da arquitetura/** João Marcos Lopes, Marta Bogéa, Yopanan Rebello. São Paulo, 2006

MACEDO, DANILO MATOSO. **Contribuição de Joaquim Cardozo à arquitetura de Oscar Niemeyer.** Danilo Matoso Macedo / Elcio Gomes da Silva

MANZIONE, LEONARDO. **Proposição de uma Estrutura Conceitual de Gestão do Processo de Projeto Colaborativo com o uso do BIM.** São Paulo, 2013

NEVILLE, A.M. **Tecnologia do Concreto**. 2ª ed. Poro Alegre, 2013

PEREIRA, NATHALIA COELHO. **Concepção arquitetônica e estrutural de duas obras de Oscar Niemeyer: Igreja da Pampulha e Pavilhão Gameleira**, Brasília 2012

PESSOA, DIOGO FAGUNDES. **Catedral de Brasília: Histórico de projeto/Execução e análise da estrutura**. Diogo Fagundes Pessoa / João Carlos Teatini de S. Clímaco

REBELLO, YOPANAN CONRADO PEREIRA, 1949. **A Concepção Estrutural e a Arquitetura**. 5ª edição, 2007.

REBELLO, YOPANAN CONRADO PEREIRA. **A Estrutura Aparente: Um Elemento de Composição em Arquitetura**. Yopanan Conrado Pereira Rebello/Andrew W. Charleson

REBELLO, YOPANAN CONRADO PEREIRA, 1949. **Estruturas de aço, concreto e madeira: atendimento da expectativa dimensional**. 2005.

SALVADORI, MARIO. **Por que os edifícios ficam de pé: a força da arquitetura**. 1ª ed. 2006.

SARZI, MELAINE. **Oscar Niemeyer: Sua Plasticidade e o Sistema Estrutural**

SILVA, DAIÇON MACIEL DA. **Estruturas: uma abordagem arquitetônica**. 2000

VASCONCELLOS, JULIANO CALDAS DE. **Concreto Armado Arquitetura Moderna Escola Carioca Levantamentos e notas**. 2004

VILELA JÚNIOR, ADALBERTO JOSÉ. **A casa na obra João Filgueiras Lima, Lelé**. Brasília, 2011

#### **SITES PESQUISADOS:**

**ARCHDAILY** - <http://www.archdaily.com.br/br/01-14553/>

**CATEDRAL** - <http://catedral.org.br/historia>

**PINI** - <http://au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/226/artigo275969-2.aspx>

**TEKLA** - <http://www.tekla.com/br/sobre/o-que-%C3%A9-bim>

**WIKIPÉDIA** - [https://pt.wikipedia.org/wiki/Wikip%C3%A9dia:P%C3%A1gina\\_principal](https://pt.wikipedia.org/wiki/Wikip%C3%A9dia:P%C3%A1gina_principal)

**FUNDAÇÃO OSCAR NIEMEYER** - <http://www.niemeyer.org.br/>