

**ARQUITETURA VERNÁCULA E SEU COMPORTAMENTO
ESTRUTURAL**

A casa Xavante

Aluno: PEDRO PAULO FONSÊCA DOS SANTOS

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ARQUITETURA VERNÁCULA E SEU COMPORTAMENTO
ESTRUTURAL

A casa Xavante

PEDRO PAULO FONSECA DOS SANTOS

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

APROVADA POR:

LINEU JOSÉ PEDROSO, Dr. ING (UnB) (ORIENTADOR)

ELANE RIBEIRO PEIXOTO, Dr. (UnB) (CO-ORIENTADORA)

GILBERTO GOMES, Dr. (UnB) (EXAMINADOR INTERNO)

EVANGELOS DIMITRIOS CHRISTAKOU, Dr. (UnB) (EXAMINADOR INTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 11 de Dezembro de 2014.

FICHA CATALOGRÁFICA

FONSÊCA dos SANTOS, PEDRO PAULO

Arquitetura vernácula e seu comportamento estrutural – A casa Xavante [Distrito Federal], 2014.

(ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2014)

Monografia de Graduação – Universidade de Brasília.

Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Fonsêca dos Santos, Pedro Paulo. **Arquitetura vernácula e seu comportamento estrutural – A casa Xavante** 2014. Monografia de Graduação - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: PEDRO PAULO FONSÊCA DOS SANTOS

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO: ARQUITETURA VERNÁCULA E SEU COMPORTAMENTO ESTRUTURAL – A casa Xavante.

GRAU/ANO: Bacharel em Engenharia Civil/2014.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Graduação pode ser reproduzida sem sua autorização por escrito.

Pedro Paulo Fonsêca dos Santos

e-mail: pedropfonsecasantos@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho diz respeito ao estudo do comportamento estrutural na arquitetura vernácula. Para este propósito, a arquitetura indígena foi selecionada como objetivo de estudo, pois além de ser pouco explorada sob o prisma de seu comportamento estrutural, esta também apresenta uma vasta possibilidade de entendimento dos saberes tradicionais e empíricos que são próprios às culturas populares.

A maioria dos estudos sobre arquitetura indígena resultam de pesquisas na área de antropologia. A contribuição deste trabalho sobre a habitação Xavante diz respeito ao aspecto técnico, estudado a partir da produção de modelos bidimensionais e de análise computacional assistida pelo *Ftool*.

Palavras-chave: arquitetura indígena, arquitetura vernácula, estrutural

ABSTRACT

This work concerns the study of the structural behavior in vernacular architecture. For this purpose, the indigenous architecture was selected as the purpose of study, as well as being little explored in the light of the structural behavior, this also offers a wide possibility of understanding of traditional and empirical knowledge that is peculiar of the popular cultures.

Most studies on indigenous architecture result of research in anthropology area. The contribution of this work on the Xavante housing regards the technical aspect, studied from the production of two-dimensional models and computational analysis assisted by *Ftool*.

Keywords: Indian architecture, vernacular architecture, structural

SUMÁRIO

Capítulo 1 – Introdução	01
1.1. Generalidades	01
1.2. Justificativa	01
1.3. Objetivos	02
1.4. Problematização	02
1.5. Metodologia	02
Capítulo 2 – Entendendo a casa Xavante	04
2.1. A casa Xavante	17
2.1.1. Os moradores da casa	17
2.1.2. Estrutura em construção	19
Capítulo 3 – Modelando a habitação	22
Capítulo 4 – Análise computacional	35
4.1. Ajuste do arco ao Ftool	35
4.2. Dados dos modelos	38
4.3. Cálculo dos modelos	46
4.4. Análise dos resultados	51
Capítulo 5 – Conclusão	56
Referências bibliográficas	59
Lista de figuras	60
Lista de tabelas	62
Apêndice 1	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desenho da aldeia Yawalapiti	13
Figura 2 – Planta baixa da casa Yawalapiti	14
Figura 3 – Esquema do travamento da estrutura	15
Figura 4 – Aldeia Bororo	16
Figura 5 – Casa Bororo	17
Figura 6 – Desenho da aldeia Xavante	18
Figura 7 – Maquete da habitação Xavante	19
Figura 8 – Desenho da aldeia Karajá	21
Figura 9 – Desenhos da casa na estação de chuvas	21
Figura 10 – Casa em construção na estação de seca	22
Figura 11 – Habitação Xavante	23
Figura 12 – Implantação, planta, corte e fachada da casa Xavante	25
Figura 13 – Desenho da casa em construção	26
Figura 14 – Modelo da vara de pesca com carga perpendicular	28
Figura 15 – Modelo da vara de pesca com carga inclinada	29
Figura 16 – Desconstrução da habitação	31
Figura 17 – Influência da rigidez do solo na estrutura	32
Figura 18 – Metodo de Broms	33
Figura 19 – Viga com 2 apoios elásticos (rotacionada em 90°)	33
Figura 20 – Primeiro modelo da casa	34
Figura 21 – Fluxo de cargas da figura 20	35
Figura 22 – União confusa dos galhos no ápice da edificação	36
Figura 23 – Fluxo de cargas considerando a interação das peças na junção superior	37
Figura 24 – Estrutura secundária para amarração da palha	38
Figura 25 – Fluxo de cargas considerando a influência da estrutura secundária	39
Figura 26 – Sequência de alguns segmentos testados	41
Figura 27 – Convergência do resultado teórico com o do Ftool (un. “cm”)	41
Figura 28 – Tabela das características das Dicotiledônias	45
Figura 29 – Classe de resistência das espécies de dicotiledônia	45
Figura 30 – Classe de resistência das dicotiledônias	45
Figura 31 – Tabela com as características da cobertura de piaçava	48
Figura 32 – Arco tri-articulado (a) carregamento (b) momentos fletores (c) deformações	51
Figura 33 – (a) Caso livre (b) Caso engastado	52
Figura 34 – Modelo 1 (a) carregamento (b) momentos fletores (c) deformações	53
Figura 35 – Modelo 2 (a) carregamento (b) momentos fletores (c) deformações	54
Figura 36 – Modelo 3, K^3 (a) carregamento (b) momentos fletores (c) deformações	55

Figura 37 – Modelo 3, $K^3/10$ (a) carregamento (b) momentos fletores (c) deformações	56
Figura 38 - Deformações do modelo 0	57
Figura 39 – (a) DEM do modelo 0 (b) DEM do modelo 1	58
Figura 40 – (a) DEM do modelo 1 (b) DEM do modelo 2	58
Figura 41 – (a) DEM do modelo 3 K^3 (b) DEM do modelo 3 $K^3/10$	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados do Apêndice 1	40
Tabela 2 – Pares ordenados do arco	43
Tabela 3 – Diâmetro dos segmentos da base para o topo	44
Tabela 4 – Carga distribuída por segmento devido peso próprio da estrutura principal	47
Tabela 5 – Posição e comprimento das taquaras rachadas	47
Tabela 6 – Porcentagens da área de cobertura relativa a cada segmento do arco	49
Tabela 7 – Acréscimo de carga por segmento devido peso da palha	50
Tabela 8 – Carga total por segmento da haste	50
Tabela 9 – Reações de apoio do modelo 0	52
Tabela 10 – Rotação, momento e K^1 estimado	52
Tabela 11 – Reações de apoio do modelo 1	53
Tabela 12 - Rotação, momento e K^2 estimado	54
Tabela 13 – Reações de apoio do modelo 2	54
Tabela 14 – Deslocamentos horizontais, flechas e K^3 estimados	55
Tabela 15 – Reações de apoio do modelo 3	56

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1. Generalidades

A arquitetura indígena praticada no Brasil muito antes da colonização portuguesa é, possivelmente, a primeira forma de construir brasileira, sendo livre de qualquer influência europeia.

Esta arquitetura, classificada como vernácula, tem suas bases fundadas no conhecimento empírico, onde domina a tradição. O conhecimento é passado de mestre para aprendiz através da prática e baseado nas experiências de vida. Para esses indivíduos, que não se pautam pela ciência, as regras estão baseadas no senso comum.

O conhecimento científico e empírico, na área a engenharia, são duas formas de compreender o mesmo fenômeno, este trabalho visa a construir uma ponte entre essas duas ordens de conhecimento.

1.2. Justificativa

A decisão de estudar a arquitetura indígena foi o resultado da junção de vários fatores, dentre eles o interesse por arquitetura. Durante o período de graduação, me aproximei dessa área, cursando algumas matérias do departamento de Teoria e História da Arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU-UnB). Como sempre senti falta desse conhecimento no curso de Engenharia Civil, procurei em meu projeto final aproximar ambos os cursos de maneira a aliar os conhecimentos adquiridos em minha passagem pela FAU-UnB e meu interesse pela área de estruturas.

Para aliar os conhecimentos adquiridos, observei que há uma carência de estudos sobre a arquitetura vernácula indígena, tanto na engenharia como na arquitetura. Esta arquitetura autóctone realizada no Brasil raramente é tratada por especialistas da área, geralmente é vista em estudos e pesquisas da antropologia, principal fonte de informação deste projeto.

Creio que o estudo da arquitetura indígena é importante para o reconhecimento dessa sociedade, de sua organização social, da distribuição espacial e, principalmente, de como são as casas e sua organização interna. A estrutura das casas é o principal objeto de interesse deste estudo sendo ela um dos assuntos que

diz respeito à engenharia no âmbito da habitação étnica brasileira. De um ponto de vista menos conservador, os indígenas não estão muito afastados de nós na concepção de suas edificações, seus costumes cumprem o papel de nossas normas exigindo parâmetros mínimos com relação à durabilidade e desempenho, utilizam sempre os recursos locais e não se esforçam mais do que o necessário para que suas construções tenham vida útil de acordo com o tempo de uso. É bem verdade que, como construtores vernáculos, estão presos a poucos modelos, porém estes são muito bem consolidados pelo tempo e uso, caracterizando uma fonte de conhecimento sólida.

1.3. Objetivos

O presente trabalho visa a compreensão do comportamento estrutural da habitação indígena a partir da construção de modelos bidimensionais. Para melhor atingir este objetivo, é necessária a escolha de uma estrutura específica para o estudo de seus esforços e componentes estruturais.

Dentre as etnias estudadas para a produção deste trabalho, escolheu-se a habitação da tribo Xavante por dois principais motivos. O primeiro relaciona-se à forma da casa, uma cúpula, estrutura extensivamente utilizada no curso da história europeia em seus edifícios mais importantes, aspecto curioso que instiga a pesquisa. O segundo, diz respeito ao material encontrado que possibilitaria a realização do trabalho, sendo os estudos acerca dessa etnia os mais abundantes.

1.4. Problematização

O presente estudo buscou responder às seguintes questões:

1. Como os Xavante constroem suas casas?
2. Quais são as peças que constituem a estrutura da habitação Xavante?
3. Qual o modelo estrutural que melhor representa a casa?
4. Qual o comportamento estrutural desse modelo?

1.5. Metodologia

O estudo que apresento compreendem três etapas. A primeira refere-se à revisão bibliográfica de autores que foram escolhidos para o entendimento do tipo de estruturas que pretendo estudar. A segunda etapa do trabalho concerne ao estudo e

descrição da casa Xavante a partir de material iconográfico, organizado na forma de tabelas e que deve conter: a implantação da aldeia, a casa em planta, a casa em corte, descrição dos materiais, descrição do sistema estrutural, descrição dos elementos, descrição do processo construtivo. A terceira etapa destina-se à análise da estrutura mediante os esforços que lhe são aplicados. Para isso, busquei criar procedimentos estratégicos que me permitissem essa análise. As perguntas da problematização guiaram os caminhos possíveis para este trabalho e seu futuro desenvolvimento.

No caso, para a primeira questão, é necessário o entendimento da arquitetura vernácula indígena, baseada nos métodos empíricos que serão aqui apresentados. As seguintes dependem da descrição da moradia, acima referida na forma de tabela, sendo ela importante para identificar as peças e elementos estruturais da residência, permitindo, então, a construção de modelos bidimensionais de tal forma a compreender como funcionam. O modelo inicial foi submetido a alterações para melhor corresponder ao real da casa xavante. Estes modelos, como passo seguinte do método de estudo, foram analisados através do programa *Ftool*, de forma a compreender o comportamento da estrutura da casa.

CAPÍTULO 2 – ENTENDENDO A CASA XAVANTE

Antes de prosseguir com a abordagem do tema, é necessário que se compreenda um conceito fundamental para o seu entendimento. Trata-se da definição de arquitetura primitiva e vernácula. Rapoport (1969) refere-se a essa modalidade de arquitetura como “primitiva” e assim se posiciona:

Construção primitiva, simplesmente, refere-se àquela produzida por uma sociedade definida pelos antropólogos como primitiva. Refere-se, em maior parte, a níveis de desenvolvimento técnico e econômico, mas também inclui aspectos da organização social. Ainda que as habitações produzidas nessas culturas pareçam, à primeira vista e por nossos padrões técnicos, elementar, elas são, de fato, construídas por pessoas usando sua inteligência, habilidade – não diferente da nossa – e recursos ao máximo. O termo primitivo, portanto, não se refere às intenções ou habilidades do construtor, mas sim a sociedade na qual eles constroem. Este é um termo relativo, para sociedades futuras nós pareceremos, sem dúvida, primitivos.¹

(RAPOPORT, 1969, p. 3)

Entende-se que a arquitetura primitiva é aquela construída por uma sociedade distinta da sociedade ocidental, não se refere, portanto, a construtores “atrasados”. Elvan Silva (1994, p. 124) comenta o parágrafo acima: “... o termo <primitivo> é aqui empregado sem sentido pejorativo, tendo apenas o propósito de denominar uma condição da cultura, no processo de evolução.” É fácil entender o comentário de Silva, uma vez que, Rapoport esclarece que esses construtores têm a mesma inteligência, habilidade e usam recursos disponíveis tal qual nós o fazemos.

Rapoport discorre sobre os escritos de Robert Readfield e mostra que uma característica marcante da construção primitiva é o conhecimento difuso da técnica. O que significa que os membros de uma determinada comunidade conhecem intimamente os saberes que envolvem o construir, cada indivíduo pode produzir sua própria habitação. Essas casas partilham, em geral, uma mesma estrutura espacial e organizacional, assim como suas questões técnicas. Rapoport reafirmar esta observação, esclarecendo como as moradias são únicas:

(Traduzido pelo autor)

¹ *Primitive building, most simply, refers to that produced by societies defined as primitive by anthropologists. It refers largely to certain technological as well as economic levels of development, but also includes aspects of social organization. While the dwellings produced in such a culture may, at first glance and by our technological standards, appear elementary, they are, in fact, built by people using their intelligence, ability - no different from ours - and resources to their fullest extent. The term primitive, therefore, does not refer to the builders' intentions or abilities, but rather to the society in which they build. It is of course a relative term; to future societies we will undoubtedly appear rather primitive.*

Como o membro comum do grupo constrói sua própria casa, ele entende perfeitamente suas necessidades e exigências; quaisquer problemas que ocorram o afetarão pessoalmente e serão lidados devidamente. Existem, é claro, maneiras pré-determinadas de como fazer e não fazer as coisas. Algumas formas são consideradas privilegiadas e resistem à mudança, uma vez que essas sociedades tendem à ser muito tradicionais. Isso explica a relação entre a forma e a cultura na qual estão imersas, e também o fato de algumas delas persistirem por longos períodos de tempo. Com o tempo, o modelo é ajustado até que satisfaça grande parte dos requisitos culturais, físicos e de manutenção. O modelo é completamente uniforme e numa sociedade primitiva todas as moradias são basicamente idênticas.²

(RAPOPORT, 1969, p. 4)

Silva pondera que, apesar dessa arquitetura ser completamente uniforme, ela não é destituída de qualidade, uma vez que atende muito bem seu propósito, ou como se diz em arquitetura, ela cumpre o seu programa. E cumpre suficientemente bem, pois o modelo é desenvolvido numa longa duração histórica e cada problema é equacionado até que sua solução atinja um nível de resposta aceitável. Essa condição somada ao “trabalho necessário”, exclusivamente para suprir necessidade imediatas, subtrai a moradia de crítica e corrobora com a cristalização do desenvolvimento do modelo básico, que não “precisa” evoluir.

Esta cristalização é uma característica da arquitetura primitiva, oposta à arquitetura erudita (SILVA, 1994). O conhecimento nela implícito “(...) é rudimentar porque corresponde à expressão mínima que pode assumir face ao seu potencial evolutivo...” (SILVA, 1994, p. 127). Talvez, o autor exagere um pouco nesta afirmação do mínimo, ao desconsiderar a evolução da casa no processo de sua definição. Uma vez que para atender aos requisitos do grupo, a moradia foi adaptada à sociedade e isso é de fato uma evolução, mas sem dúvida inexpressiva face seu potencial evolutivo.

Esse potencial evolutivo pode ser entendido como erros, falhas, defeitos e todo tipo de ponto passível de melhorar o objeto final, mas por não incomodarem os indivíduos, são deixados de lado e o modelo se mantém estável. A observação, crítica e constante busca por melhoras são características próprias à arquitetura erudita.

(Traduzido pelo autor)

² *Since the average member of the group builds his own house, he understands his needs and requirements perfectly; any problems that arise will affect him personally and be dealt with. There are, of course, prescribed ways of doing and not doing things. Certain forms are taken for granted and strongly resist change, since societies like these tend to be very tradition oriented. This explains the close relation between the forms and the culture in which they are embedded, and also the fact that some of these forms persist for very long periods of time. With this persistence the model is finally adjusted until it satisfies most of the cultural, physical, and maintenance requirements. This model is fully uniform, and in a primitive society all the dwellings are basically identical.*

Todas as características da arquitetura primitiva também se aplicam a arquitetura vernácula, tendo nos textos de Silva uma distinção pouco perceptível. Nos escritos de Rapoport, ainda há uma diferenciação com relação ao fato de que a arquitetura vernácula tem pouca variedade de tipos, enquanto a primitiva apresenta apenas um. Mas ainda valem todas as outras questões citadas, como, por exemplo, a construção da casa pelo usuário, o conhecimento das técnicas construtivas de propriedade coletiva e a pouca variação em relação a um modelo tradicional.

Nessa arquitetura que Silva caracteriza como “sem genealogia”, aquelas que prescindem dos profissionais de arquitetura, o elemento mais importante é a tradição. A memória e os modelos reais são os transmissores do conhecimento, que é apropriado pela sociedade de forma empírica. A questão não é a escolha entre alternativas, pois na arquitetura vernácula tudo é dado, as bases da construção estão arraigadas nos métodos tradicionais da sociedade, assim como estão várias outras tarefas. Essas sociedades são conservadoras com seus hábitos e tabus, e isso se espacializa na arquitetura por elas produzida.

Uma vez que o trabalho é realizado para suprir necessidades imediatas, a construção de habitações não tem outra finalidade que a de prover abrigo. Beleza, no sentido erudito, não está em questão, não há um projeto prévio, os modelos estão na memória, reduzindo a atividade intelectual ao acesso do banco de dados constituído pela tradição. Beleza, arte e estilo são termos que não cabem na definição de arquitetura vernácula e primitiva, e Silva justifica: “O homem primitivo não dispunha de aparato conceitual que lhe permitisse distinguir terminologicamente o belo do bom.” (1994, p. 130)

Esclarecidas a dimensão e as implicações da arquitetura vernácula, posso retomar algumas questões específicas de meu objeto de estudo.

As aldeias indígenas, em geral, são circulares e constituídas de habitações familiares, um pátio principal e a casa dos homens (quase sempre existente). Dentre estas estruturas a casa desperta o interesse de muitos estudiosos.

Para Gaston Bachelard, a casa “emerge na consciência como produto direto do coração, da alma, da essência humana presa à sua realidade” (BACHELARD, apud NOVAES, 1983, p. 3). Esta dimensão poética é reafirmada por Jung (apud NOVAES, 1983, p. 3), para quem “(...) a casa é também um importante instrumento para a análise da alma humana, sendo muitas vezes tomada como símbolo do ‘self’.” A casa

é uma ligação entre a essência de quem a constrói e habita e o pesquisador que busca compreendê-la. Esta condição possibilita uma abertura para aquilo que denominamos alteridade. Isso explica porque a casa é tão rica.

Como evidenciado pelas obras reunidas por Novaes, nas etnias indígenas não somente a casa opera essa ligação, mas também a aldeia. A casa é portanto a aldeia, pensamento compartilhado por Rapoport quando aponta que “a casa é considerada como a totalidade do quadro de vida e a aglomeração, quer seja um povoado ou uma cidade (...)” (NOVAES, 1983, p. 4). O abrigo fica sendo parte da “aldeia-casa”, e como coloca Novaes é a parte mais íntima e resguardada desse domínio.

Segundo Portocarrero (2010, p. 28), as aldeias indígenas brasileiras podem ser classificadas segundo a geometria de sua implantação, assim distingue: as aldeias circulares, as mais comuns, as retangulares ou lineares. Quanto à casa, o autor também as diferencia segundo a forma de suas plantas, tem-se, então: casas de planta circular, falsa elíptica e retangular. Observa que a casa de forma retangular foi considerada por Castro Faria influência europeia.

Antes de me ater ao meu objeto de estudo, julgo ser importante ambientar o leitor no assunto estudado. Selecionei entre as várias etnias indígenas brasileiras, por motivo, principalmente, de disponibilidade de material de pesquisa, quatro para melhor entender essas sociedades, construindo uma base sólida para o estudo técnico de suas habitações.

Yawalapiti

Os Yawalapiti vivem na região do Alto-Xingu, nordeste do Mato Grosso, uma região de transição entre o cerrado e a floresta amazônica. O clima varia entre duas estações bem definidas: O inverno chuvoso e o verão seco. A etnia pertence ao tronco linguístico Aruak.

Cristina de Sá coloca que as “aldeias xinguanas são geralmente implantadas perto de um riacho ou lagoa e não muito distantes das áreas de floresta” (apud NOVAES, 1983, p. 108). O motivo dessa localização é devido ao sustento dessa população feita, principalmente, da pesca e do cultivo de mandioca. Sá descreve a conformação:

Como todas as aldeias do Alto Xingu, a aldeia yawalapiti tem a forma de um círculo, com as casas dispostas na periferia e o espaço central constituindo-se num grande pátio, no meio do qual, assinalada por uma cerquinha baixa, fica a sepultura dos capitães, isto é, dos homens de maior prestígio, geralmente líderes dos grupos domésticos. Junto à sepultura, ligeiramente afastada do centro da aldeia, fica a casa dos homens ou casa das flautas (que não é local de moradia, mas apenas de reunião), à qual as mulheres não têm acesso, tendo em frente um grande tronco descascado, usado como banco pelos homens, que ali ficam sentados conversando, geralmente à tardinha, quando não têm nada para fazer. Bem afastada do centro fica a gaiola do gavião real, propriedade do chefe do grupo, cujas penas são consideradas muito valiosas para a confecção de determinados ornamentos.

(SÁ, apud NOVAES, 1983, p. 108)

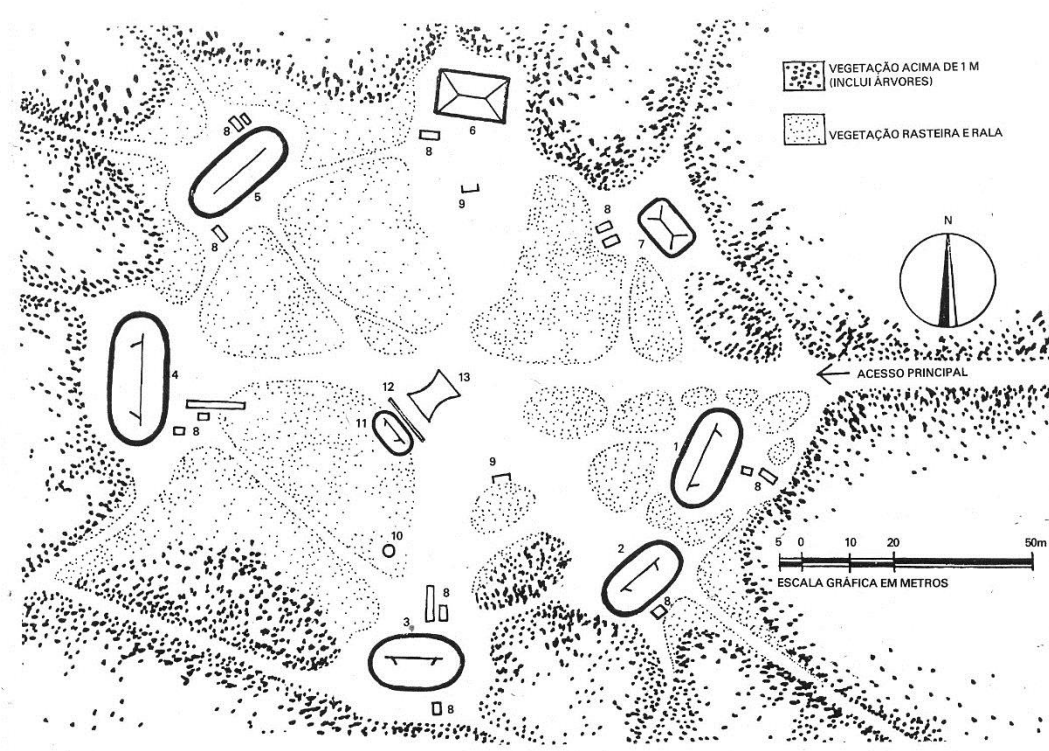


Figura 1 – Desenho da aldeia Yawalapiti (SÁ, apud NOVAES, 1983, p. 109)

A aldeia, portanto, apresenta todas as características citadas como constituintes básicos dessa tipologia. Compreende dois círculos básicos, um define a periferia e o outro o espaço central. A periferia é um espaço predominantemente feminino, nele são encontrados os caminhos que ligam as casas entre si e aos locais de banho, roças, entre outros. Curiosamente, os caminhos radiais que ligam as casas ao centro são predominantemente masculinos, apesar do centro da aldeia ser um local público, as mulheres evitam passar por ele.

A habitação tradicional yawalapiti tem a forma em planta de uma falsa elipse, assemelha-se a um retângulo com os lados menores em semicírculos. Em elevação, o volume se define por uma estrutura em “arco ogival”. Suas dimensões mais comuns

variam em torno de 20m x 10m x 6m. Os lados maiores da falsa elipse possuem cada um uma porta, direcionadas para o centro e para fora da aldeia.

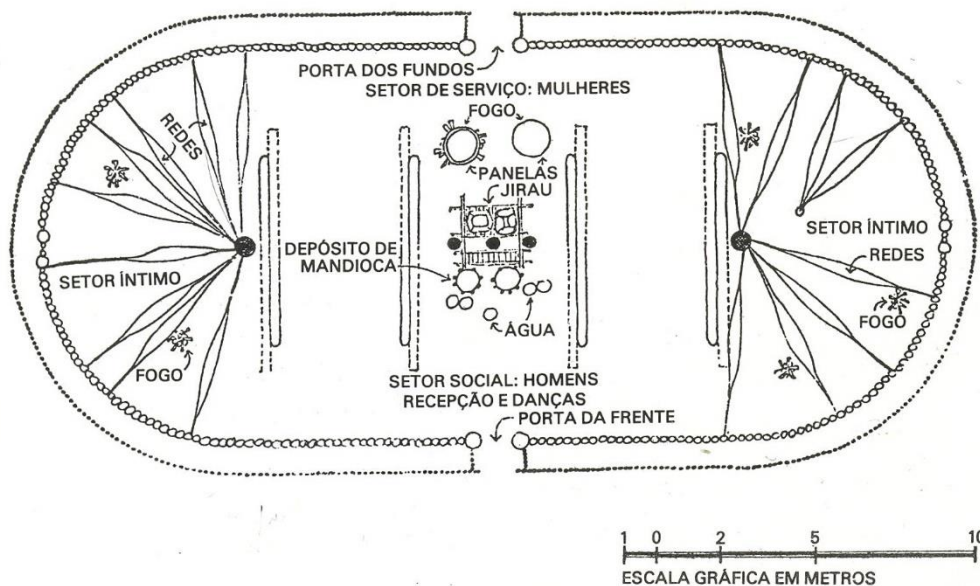


Figura 2 – Planta baixa da casa Yawalapiti (SÁ apud NOVAES, 1983, p. 116)

Sá descreve a distribuição do espaço interno da casa. No centro, entre as duas portas, encontra-se o depósito de alimentos; entre a porta da frente, voltada para o centro da aldeia, e o depósito situa-se o setor social da casa. Nele, são recebidas as visitas. Entre o depósito e a porta voltada para fora da aldeia localiza-se a cozinha; nas áreas definidas pelos semicírculos laterais são armadas as redes.

A estrutura da casa é descrita por Portocarrero:

(...) os esteios centrais que suportam a viga-cumeeira são ladeados por um X, com função de travamento da estrutura, o que é um reforço, devido às dimensões da casa. A estrutura da cobertura é enrijecida por uma trama de varas verticais maiores e horizontais menores, produzindo com a disposição da palha quase um efeito casca, que ajuda também no travamento, (...). A estrutura resultante é leve e forte ao mesmo tempo; (...)

(PORTOCARRERO, 2010, p. 164)

Tal estrutura fornece à casa estabilidade lateral, resistindo aos efeitos do vento e possibilitando o elevado pé direito, tão necessário ao depósito de alimentos ou conforto térmico. “São belas porque são úteis.” (apud PORTOCARRERO, 2010, p. 165), com essas palavras que poderiam ser ditas por qualquer engenheiro, Octávio Paz caracteriza a casa yawalapiti.

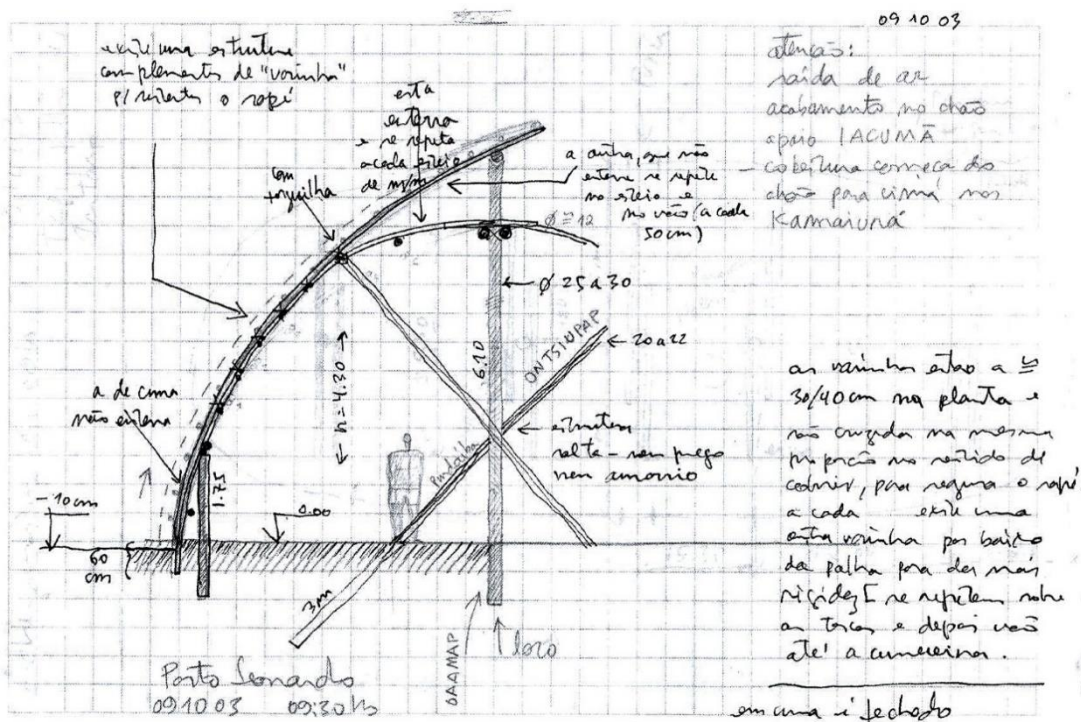


Figura 3 – Esquema do travamento da estrutura (PORTOCARRERO, 2010, p. 164)

Bororo

A sociedade Bororo se encontra espalhada por várias áreas descontínuas no Mato Grosso do Sul. Grande parte das tribos vivem no clima do cerrado, com exceção apenas de duas aldeias. A etnia pertence ao tronco linguístico Jê.

A aldeia tem forma circular com diâmetro aproximado de cem metros, e apresenta: habitações familiares, pátio central (*bororo*) e a Casa dos Homens (*Báí mána gejúwu*). Portocarrero mostra como se dá a organização espacial da aldeia.

“(…). A construção começa pelo Báí mána gejúwu ou baíto, forma comum usada pelos Bororos para designar a casa dos homens, que determina o centro do círculo e que tem seu eixo maior na orientação norte-sul. Seu eixo menor, leste-oeste, divide a aldeia em duas metades exógamas: Eceráe e Tugarége, mas que também divide na ordem contrária o seu interior: a metade dos homens Eceráe fica dentro da metade Tugarége, e vice-versa. Sobre a separação principal desses dois partidos é que está assentada toda a ordem de igualdade e complementariedade. (...)”

(2010, p. 111)

Novaes aponta que a ordem de igualdade entre constituintes da tribo é representada pelo uso do modelo circular de aldeia. “Os Bororo se mantêm, até hoje, como uma sociedade igualitária, dividida internamente em seguimentos que não se opõem numa perspectiva vertical, mas em clãs e linhagens, cujas diferenças implicam numa relação de complementariedade.” (1983, p. 62).

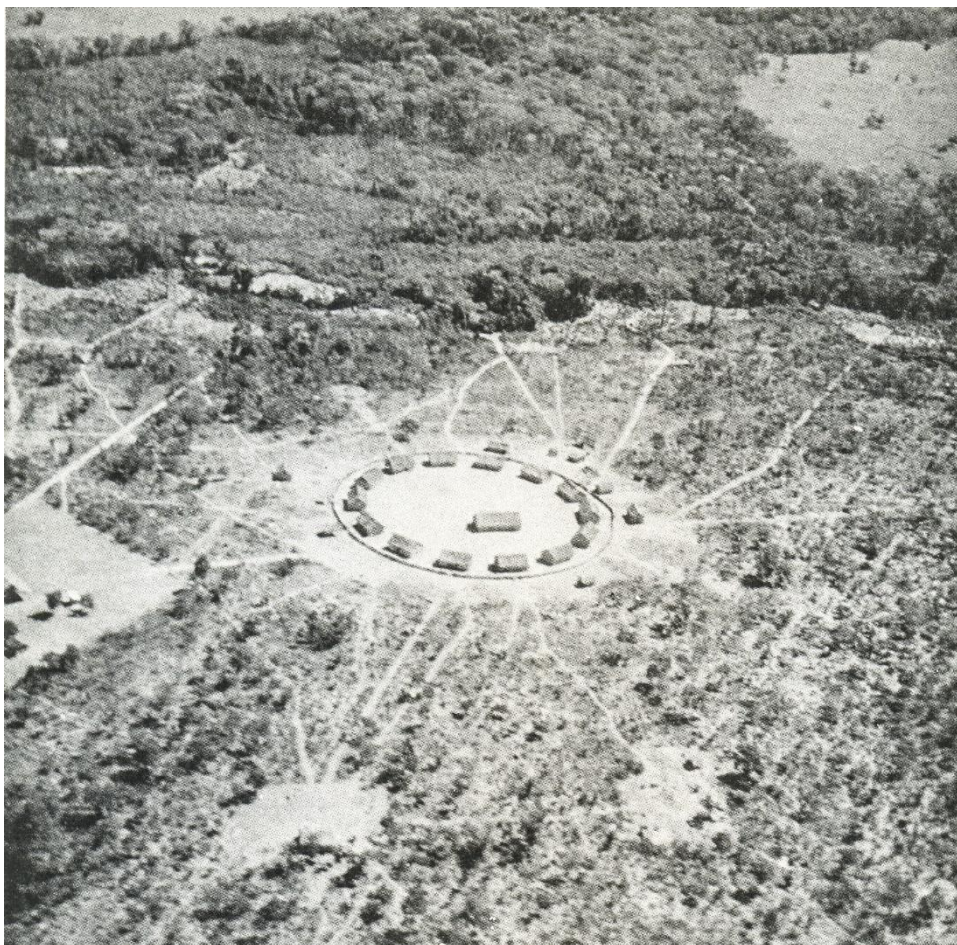


Figura 4 – Aldeia Bororo (NOVAES, 1983, p. 58)

Segundo Portocarrero, houve três modelos de habitação bororo, por ele denominados: Pré-colonial, pós-colonial e atual. Novaes se atém apenas ao estudo desse último. Pelo motivo de serem muito aproximadas dos nossos modelos tradicionais de construção, devido à influência que sofreram, farei um curto comentário sobre cada uma das habitações mencionadas.

A primeira apresenta uma planta de forma retangular, com uma cobertura de duas águas e formato de arco ogival em corte. Apresenta “pilares” centrais sustentando uma viga-cumeeira, na qual se apoia o vértice do arco; O modelo pós-colonial é essencialmente igual, porém, observamos que o volume define-se em prisma triangular; O modelo atual é uma derivação da casa colonial, sem valor para os fins do meu estudo.

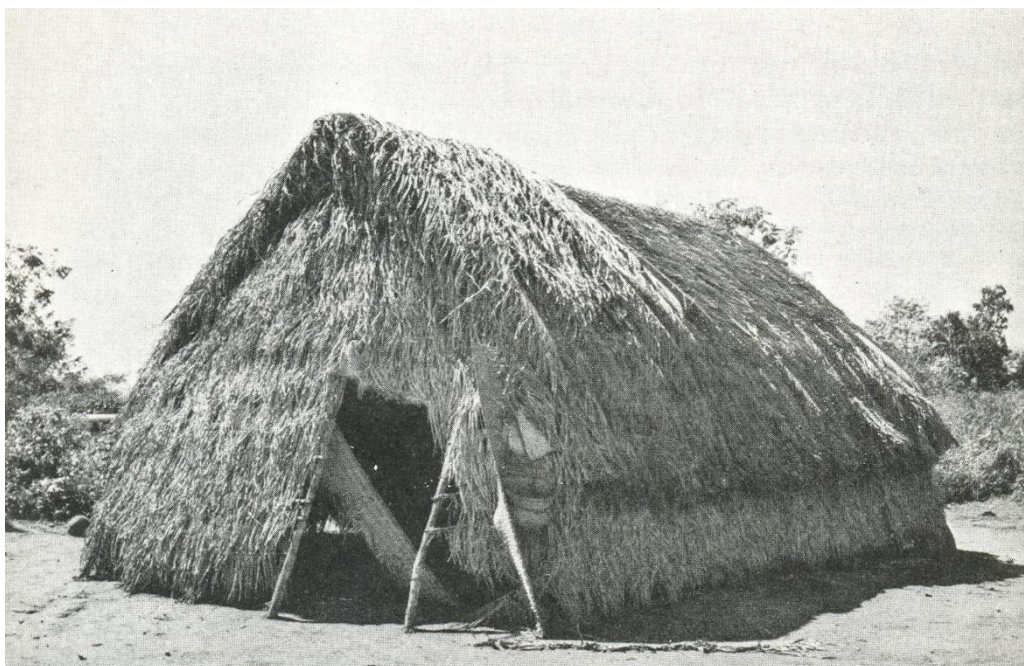


Figura 5 – Casa Bororo (NOVAES, 1983, p. 63)

Xavante

A sociedade Xavante estabelece-se na região da Serra do Roncador, Mato Grosso. Cristina Sá (apud NOVAES, 1983, p. 131) coloca que quando lá chegaram, tomaram o território para si, defendendo-o de índios e brancos. Mais tarde passaram inclusive a atacar as etnias vizinhas, Bororo e Karajá. Vivem no clima do cerrado e fazem parte do tronco linguístico Jê.

Sá escreve que “o Xavante se caracteriza tradicionalmente por um alto nível de complexidade sociocultural, pela grande mobilidade no espaço e por uma tecnologia muito simples.” (apud NOVAES, 1983, p. 131). Tal afirmação é confirmada, por exemplo, por Giaccaria e Heide (1932, p. 56 e 57) quando mostram, ao descrever a aldeia, o regime de exclusão em que vivem os *waptè* (homens não iniciados); por Sá que discorre sobre o ciclo de migração dos Xavante, e por Portocarrero (2010, p. 178) que aborda a construção da casa, da qual participam homens e mulheres, sendo concluída em poucos dias.

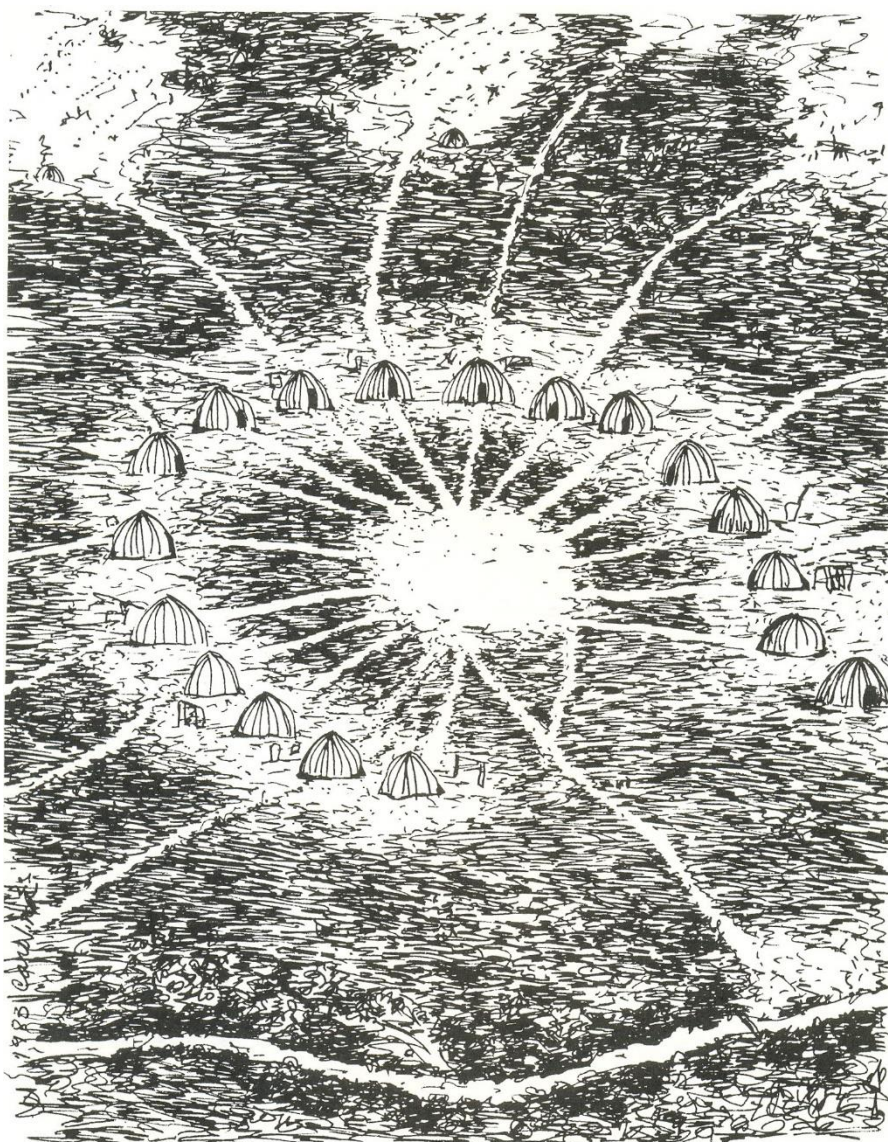


Figura 6 – Desenho da aldeia Xavante (LOPES DA SILVA apud NOVAES, 1983, p. 46)

A posição da aldeia é descrita por Giaccaria e Heide como:

A aldeia Xavante é construída no cerrado, se possível no limite da floresta tropical; em todo caso, a distância máxima que a separa da mata não supera um quilômetro, uma vez que é da floresta que os Xavante tiram o terreno para as plantações.

Outra característica constante da aldeia Xavante é a de se encontrar sempre às margens de um curso d'água bastante grande e, se possível, na confluência deste com outro menor. É unicamente o curso d'água principal, o pañou, e não a disposição do sol, que determina a orientação da aldeia: as cabanas estão dispostas em forma de uma ferradura com a abertura voltada para o pañou. Este ponto de referência é extremamente importante pela circunstância de ser a água condição para muitos aspectos da cultura Xavante.

(1932, p. 54)

Os autores descrevem ainda a conformação da aldeia:

No centro da aldeia se encontra o Warã, o lugar no qual se desenvolve boa parte da vida social dos Xavante: aí os homens tomam as decisões mais importante, e não há rito ou festa que não contemplem o Warã. São admitidos somente os homens, enquanto os Reteý'wa (homens iniciados e não casado) se reúnem em um espaço periférico, e as mulheres e o Waptè são excluídos completamente.

Portanto o “mundo dos homens” encontra no Warã, coração da aldeia, o lugar em que manifestar-se, através de ritos, cantos, danças; em posição periférica, e quase em contraposição ao primeiro, está o “mundo das mulheres”, que prevalece nas cabanas.

(...)

A distância entre uma cabana e outra é de alguns metros, enquanto a Hö – a casa dos Waptè – e a cabana mais próxima, há uma distância dupla ou tripla em relação á normal. A Hö se acha colocada na extremidade esquerda ou direita da “ferradura de cavalo”, de acordo com a classe de idade de seus habitantes.

(1932, p. 56)

Aracy Lopes (apud NOVAES, 1983, p. 45) comenta sobre a Hö, ressaltando alguns aspectos que reafirmam a rígida divisão social Xavante. Ela coloca que a casa além de mais distante, apresenta-se desalinhada em relação ao formato “ferradura” da aldeia e que sua porta é voltada para o *Pañou*, e não para o *Warã* como todas as outra. Segundo a autora isso mostra uma relação de distanciamento e respeito para com os adultos e mulheres.

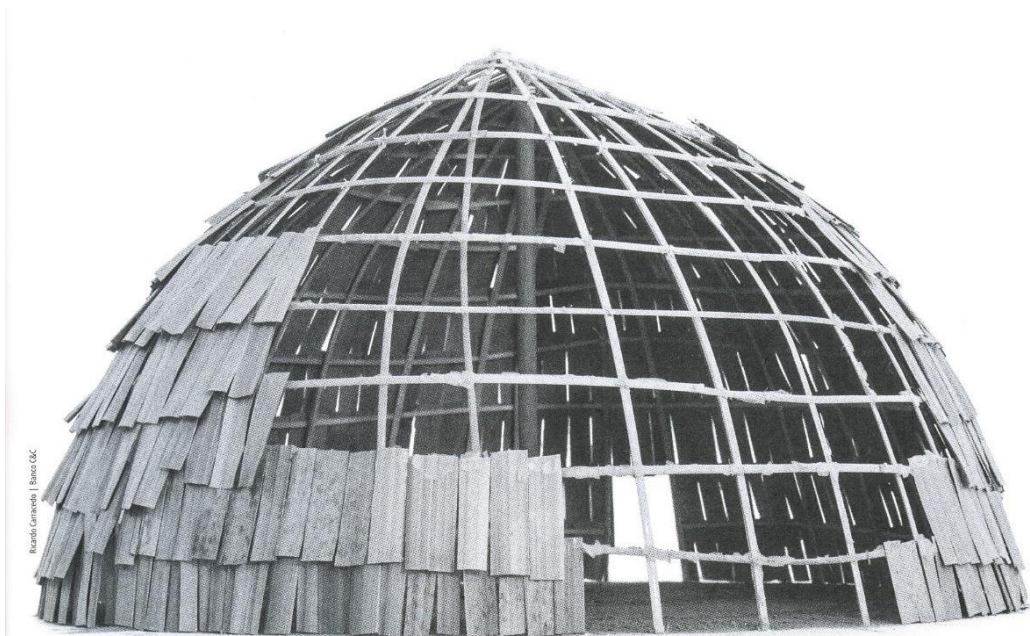


Figura 68.10. Maquete da casa Xavante, por Jucimar Ipaikire.

Figura 7 – Maquete da habitação Xavante (PORTOCARRERO, 2010, p. 183)

A habitação Xavante, como já colocado, é bastante simples. Sua estrutura é formada por varas cravadas no chão igualmente espaçadas entre si, formando um círculo com diâmetro de 5 a 6 metros. As varas são envergadas e amarradas no centro do círculo, resultando em uma forma que recorda a cúpula ogival.

Giaccaria e Heide afirmam que em cada casa vivem de duas à três famílias, por volta de 8 pessoas, todas aparentadas entre si. Tal peculiaridade decorre do fato da casa ser de posse feminina, as mulheres passam a vida inteira na mesma casa, enquanto os homens mudam-se para as casas de suas noivas. Isso resulta na divisão da casa entre a mãe e seu marido com as filhas e seus respectivos maridos. As famílias se dispõem em volta do fogo, localizado no meio da cabana, e sua área é “delimitada apenas por esteiras colocadas sobre folhas de palmeira não havendo paredes divisórias (...), exceto no caso de um casal jovem, com ou sem filhos, que tinha seu próprio compartimento separado durante alguns anos, (...)” (SÁ apud NOVAES, 1983, p. 134).

Karajá

Os índios Karajá ocupavam as margens do Rio Araguaia, grande corpo hídrico que corta vários estados no centro do país, com os primeiros registros datando de 1712. Desde o encontro com o homem “branco”, essa etnia foi massacrada e destituída de seu território para, inicialmente, servir como escravos sendo, posteriormente, seu território ocupado para a pecuária. A região onde vivem apresenta clima de cerrado e a exemplo dos Xavante e Bororo fazem parte do tronco linguístico Jê.

A aldeia Karajá apresenta forma linear, margeando o Rio Araguaia, e apresenta as habitações e a Casa dos Homens. A pouca complexidade da tribo está diretamente ligada à sua sazonalidade que Cristina de Sá descreve abaixo:

Enquanto mantiveram seu ciclo anual de subsistência, de acordo com os padrões tradicionais, os karajás não possuíam aldeia permanente: no inverno, estação das chuvas e das cheias do rio Araguaia, que vai de outubro a abril, a aldeia era construída nos barrancos mais altos das margens, acima do nível das enchentes; no verão, estação seca que vai de maio à setembro, a aldeia se transferia para as praias do rio, facilitando a pesca e a coleta de ovos de traçajá, base da alimentação nesse período. Em qualquer época, porém, as casas eram alinhadas ao longo da margem, voltadas para o rio, conservando o mesmo lugar relativo dentro do conjunto, e a única afastada era a casa dos homens...
(apud NOVAES, 1983, p. 119)

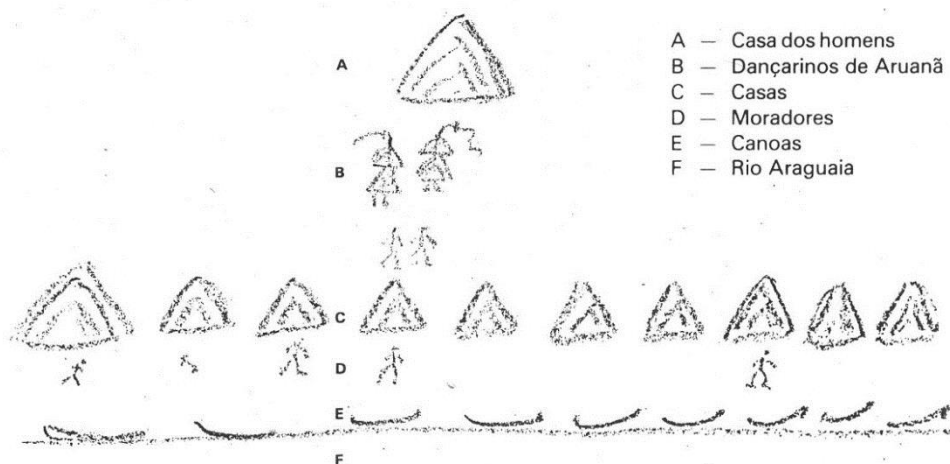


Figura 8 – Desenho da aldeia Karajá (SÁ apud NOVAES, 1983, p. 119)

Com a frequente mudança de localização, a habitação karajá é de relativa simplicidade, pois “não poderiam ser de construção demorada, nem delas se exigia que fossem resistentes, o que pode explica o pouco cuidado a elas dispensado” (SÁ, apud NOVAES, 1983, p. 120). Esse desleixo que, segundo a mesma autora, vai de encontro com a atenção aos detalhes dado na confecção de vasos, esteiras e outras manifestações da cultural material dessa etnia. A casa apresenta dois modelos, um para a estação de chuvas e outro para a seca.

Na estação chuvosa, “a casa tradicional karajá possuía uma estrutura sólida, formada por 3 arcos, com vigas de amarração junto ao piso, e tetos-paredes em palha, que possibilitava o completo fechamento, para a proteção das chuvas e dos ventos” (SÁ, apud NOVAES, 1983, p. 119).

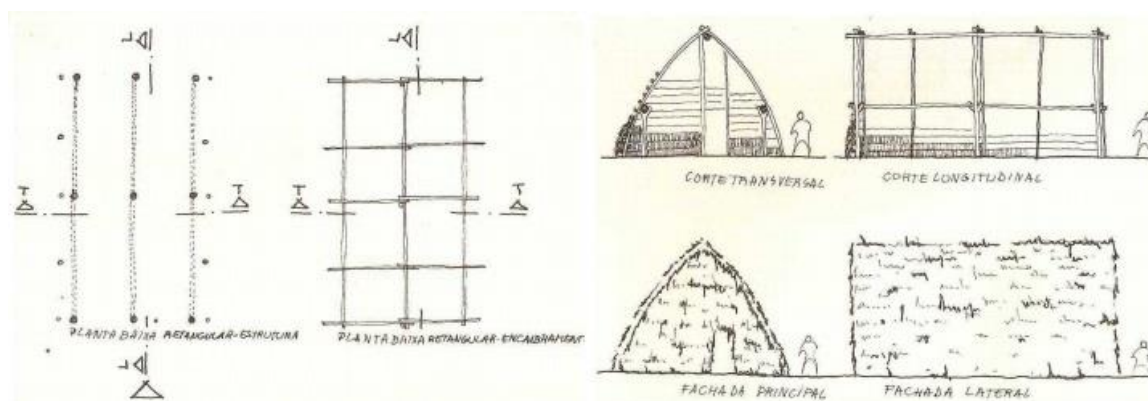


Figura 9 – Desenhos da casa na estação de chuvas³

³ Retirado de: http://3.bp.blogspot.com/-veK2IDKnzBk/TvnqNispgrI/AAAAAAAAAig/ppyQuBU5eaU/s1600/planta_caraj%25C3%25A1.jpg

Na estação das secas a casa é uma simplificação da anterior, pensamento racional, uma vez que não está exposta ao peso da água acumulada na palha e aos ventos, naturalmente mais fortes, da estação de inverno.

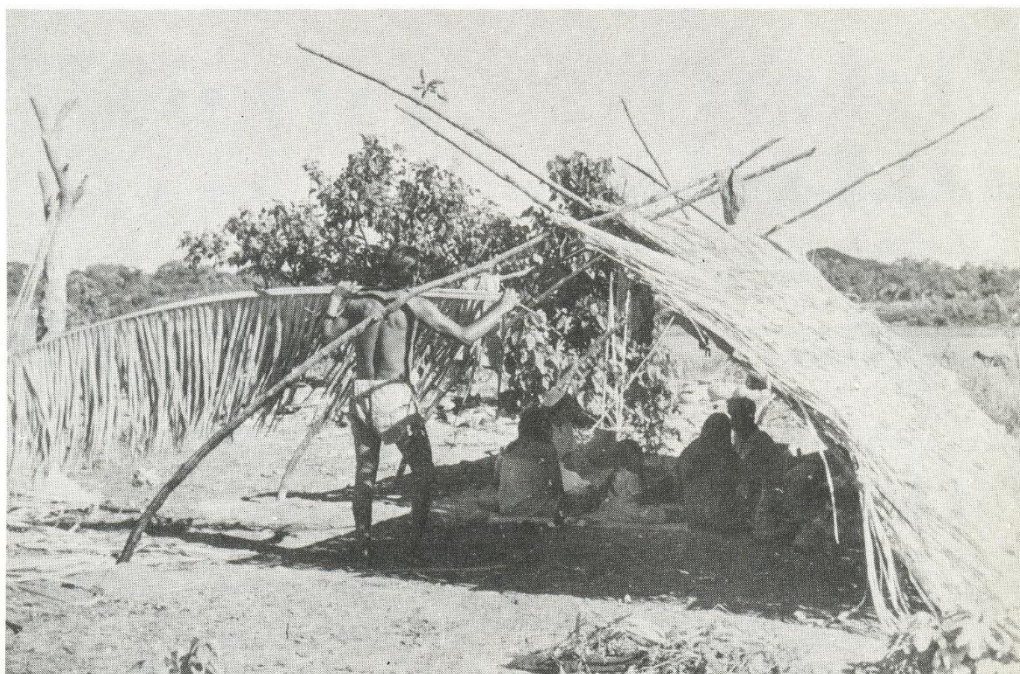


Figura 10 – Casa em construção na estação de seca (SÁ apud NOVAES, 1983, p. 121)

2.1. A casa Xavante

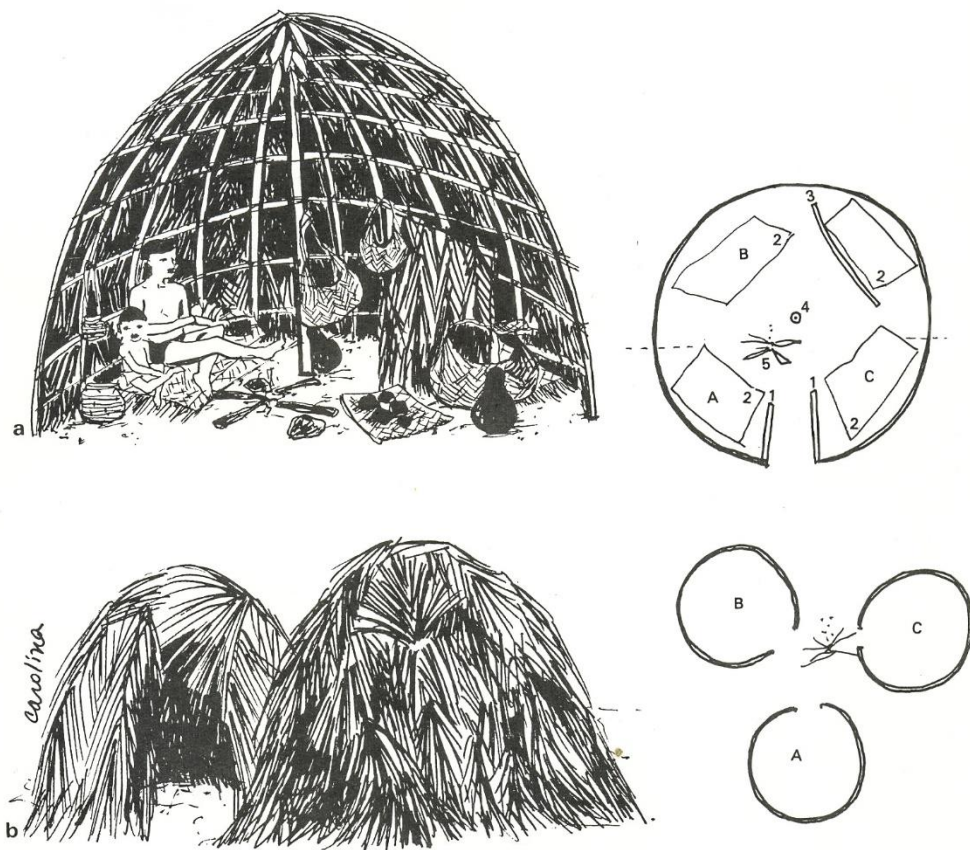
O objeto de estudo deste trabalho apresenta, além de um lado técnico, aspecto mais relevante do ponto de vista da engenharia, um lado social. Tendo em vista que o presente trabalho propõe um estudo conjunto dos pontos de vista da engenharia e da arquitetura, a habitação será brevemente comentada em seus aspectos social e técnico.

2.1.1. Os moradores da casa

Como anteriormente citado, porém superficialmente explicado, habitam em cada casa por volta de 8 pessoas da mesma família. A razão para isto, são as regras de casamento que organizam o mundo social do xavante. As fontes básicas do poder feminino na casa repousam em duas fontes: o gerenciamento do alimento e a concentração de mulheres da mesma família nas casas. A concentração de mulheres da mesma família em uma mesma casa é explicada por Maybury-Lewis (1984, p. 143 a 152) quando descreve detalhadamente todos os estágios da vida social do Xavante, usando Ego como exemplo. Quando uma criança Xavante nasce, ela passa a

pertencer ao grupo doméstico materno, seu pai é visto como um forasteiro, pois ele vem de outro grupo doméstico.

Existe certo estranhamento entre o avô e os tios da criança com seu pai, esse exerce um número maior de tarefas dentro do grupo, sendo excluído das decisões. Com o tempo, todos os tios maternos da criança saem da casa, por casamento, indo para seus novos grupos domésticos. Quando o avô morre, o pai da criança assume a posição do avô. Neste momento, vivem na casa o pai, a mãe e as tias maternas da criança e seus eventuais irmãos e primos. Quando a criança completa seus rituais de passagem para a vida adulta e nela ingressa, inicia-se um novo ciclo. Com isso, as mulheres da casa nunca se afastam dela.



Legenda:

A B C – Localização das famílias nucleares

1. “Paredes” de estacas de taquara e folhas de palmeira que delimitam o “corredor” de entrada.

2. Esteiras de dormir.

3. “Biombo” que protege o namoro da noiva.

4. Estaca central.

5. Fogueira

Figura 11 – Habitação Xavante (LOPES DA SILVA apud NOVAES, 1983, p. 42)

A outra fonte de poder da mulher na casa, e mais importante que a anterior, é o gerenciamento do alimento. “Se produzir, cozinhar e distribuir alimento é um encargo que às vezes pode pesar, é também fonte essencial do poder que a mulher desfruta na esfera doméstica.” (LOPES DA SILVA apud NOVAES, 1983, p. 54). A sobrecarga de trabalho feminino é confirmada por vários autores, Giaccaria e Heide afirmam que “dizer que não há momento do dia que a mulher xavante não se encontre ocupada em alguma atividade que tenha relação mais ou menos direta com a cozinha...”. (1984, p. XX)

O poder feminino conquistado em decorrência das regras de casamento e da gerência do alimento é confirmado por Lopes da Silva nos dois trechos abaixo:

A casa, no entanto, é reino das mulheres. A mais velha detém a sua posse e comanda as mais jovens. De modo geral, as mulheres são as que mandam em casa. ... Os homens sentem-se pouco à vontade para interferir nesse campo. Na ausência momentânea de suas esposas, jamais repartem a comida ou se sentem à vontade para administrar a despensa doméstica.

(apud NOVAES, 1983, p. 54)

E também:

Assim, sua palavra será ouvida nas questões domésticas como, por exemplo, nas decisões sobre quem escolher como futuro marido ou mulher de seus filhos e filhas, netos e netas. Destituída de poder ao nível da sociedade como um todo, a mulher Xavante domina, no entanto, a esfera doméstica. É aí, no espaço da casa, portanto, que ela informalmente pratica seu poder, através de influências pessoais e de trocas de informação e formalmente, enquanto dona da casa e dos alimentos.

(LOPES DA SILVA apud NOVAES, 1983, p. 54)

Este universo social se traduz na configuração da casa e da aldeia. Entendê-lo é indispensável para quem se interessa pela cultura indígenas, pois as divisões de trabalho, as hierarquias de poder se explicitam.

2.1.2. Estrutura em construção

Com o intuito de entender mais detalhadamente o comportamento estrutural da habitação Xavante, apresento uma reflexão sucinta acerca da técnica construtiva da casa, visando a elaboração de um modelo adequado.

A construção da casa começa com a demarcação de um círculo no chão, que loca a casa e seus elementos estruturais básicos. Lopes da Silva (Apud NOVAES, 1983, p. 36) observa que este círculo tem um diâmetro de 6 ou 7 metros. Porém há

autores como Giaccaria e Heide (1932, p. 57) que afirmam que esse círculo tem diâmetro de 5 à 6 metros; ou como Maybury-Lewis que afirma que a casa “pode chegar a ter 4,5 metros no ápice e 7,5 metros de diâmetro” (1984, p. 104). As dimensões oferecidas por esse autor concordam com os desenhos de Portocarrero que acusam um diâmetro de 7 e 4,57 metros no ápice (2010, p. 181). É razoável pensar que há uma variação considerável das dimensões de casa para casa, uma vez que o número de habitantes é variável e a característica de vida nômade quase que os obriga à renovar seus abrigos de tempos em tempos. Ressalta-se ainda que a produção artesanal e empírica não obedece a padrões fixos.

Com o círculo delimitado, são cravados:

(...) paus com cerca de 15 cm de diâmetro de base, sobre traçado circular, à distância de meio metro um do outro, de modo que pendam para o interior. No centro é fincado um pau muito mais grosso ao qual se fixam as pontas dos outros paus por meio de ligaduras muito bem feitas.”

(GIACCARIA E HEIDE, 1984, p. 58).

O trabalho de amarração é feito por homens, que, pendurados no alto do “pau” ou mastro central, amarraram as hastes que são trazidas por duplas de mulheres. O “pau muito mais grosso” é retirado ao final da construção da casa, o que atribui a ele uma função de escora, não participa da estrutura final. Apesar da ausência de informação sobre a madeira utilizada, talvez por não haver regularidade de espécie, Maybury-Lewis observa que os homens cortam apenas as árvores novas, e portanto, mais flexíveis, para fazer a estrutura da casa (1984, p. 143).

É simples calcular que o número de hastes em uma casa Xavante varia entre 30 peças (para um diâmetro de 5,046 metros) a 48 peças (para um diâmetro de 7,485 metros). Apesar de não haver indicações sobre a preferência por um número par de hastes, essa conformação permite a divisão da cúpula em vários arcos ogivais, que podem ser individualmente analisados.

A estrutura de base “[...] é depois completada com taquaras rachadas dispostas sobre a superfície da cúpula e transversalmente a esta, para servir de suporte às folhas de palmeira com as quais se faz a cobertura final.” (GIACCARIA E HEIDE, 1984, p. 58). Para Aracy Lopes (apud NOVAES, 1983, p. 37) as tais taquaras são cortadas ao meio e atadas com cipós. Portocarrero (2010, p. 181) coloca, em seus desenhos, que as hastes da estrutura secundária distam entre si por volta de 60 cm. Por meio de fotos, é possível observar essas peças que compõem a estrutura

secundária da casa. As taquaras parecem ser hastes de madeira mais fina das quais não se exige serem peças contínuas, podendo ser compostas por várias peças emendadas, o que deve ser muito comum nos círculos mais próximos da base das estruturas que podem chegar a ter mais de 20 metros de comprimento.

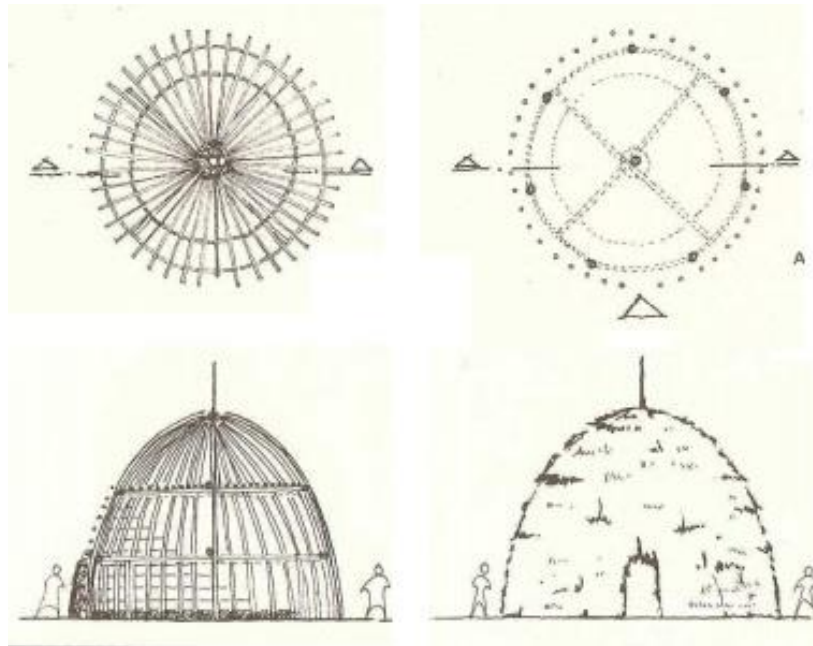


Figura 12 – Implantação, planta, corte e fachada da casa Xavante⁴



Figura 13 – Desenho da casa em construção (apud NOVAES, 1983, p.)

⁴ <http://vendoarq.blogspot.com.br/2014/04/dia-da-abolicao-da-escravidao-dos-indios.html>

A estrutura é finalizada com a cobertura de folhas de palmeira presa às taquaras da estrutura secundárias, numa atividade exclusivamente feminina.

Compreender este processo construtivo nos permite supor hipóteses para modelos estruturais da casa xavantes, é o que apresento a seguir.

CAPÍTULO 3 – MODELANDO A HABITAÇÃO

O comportamento estrutural de um sistema vai muito além de números e equações. É um comportamento físico que se utiliza da matemática, mas não se limita a ela. Pretendo assim entender a estrutura da casa Xavante de forma qualitativa e subjetiva, com foco no comportamento da estrutura quando sujeita a carregamentos. Para isto proponho modelos coerentes, como um passo necessário para que seja possível calcular os esforços representativos.

De nada adianta apresentar esses modelos sem antes entender como eles foram concebidos. Tudo começou com “a vara de pesca.”

As varas de pesca atuais são extremamente sofisticadas, apresentam uma série de mecanismos, têm redução de secção transversal ao longo do comprimento, etc. Porém, antes de se chegar a isso, a vara era um pedaço de madeira com uma corda amarrada na ponta, toma-se portanto esta vara como ponto de partida.

Para criar um modelo a partir dessa situação, vamos considerar algumas simplificações:

- A vara de pesca é uma linha, o que é razoável uma vez que ela tem o comprimento muito maior que seu diâmetro;
- A secção transversal dela é constante;
- O material da vara de pesca é homogêneo, isotrópico e elástico;
- A linha só produz forças perpendiculares a haste, para não entrarmos no âmbito dos esforços de segunda ordem;
- As deformações da estrutura não são significativas quando nela as cargas são aplicadas.

Imaginando que o pescador consiga impedir a rotação e movimentação da vara no plano, podemos considerar a vara como engastada na mão do pescador. Com isso temos o modelo clássico de uma viga engastada com uma carga vertical concentrada na ponta.

Esse problema foi resolvido uma série de vezes por muitos autores de livros de análise estrutural, inclusive por Sússekind (1973, p. 5). Com isso podemos apresentar o problema resolvido abaixo.

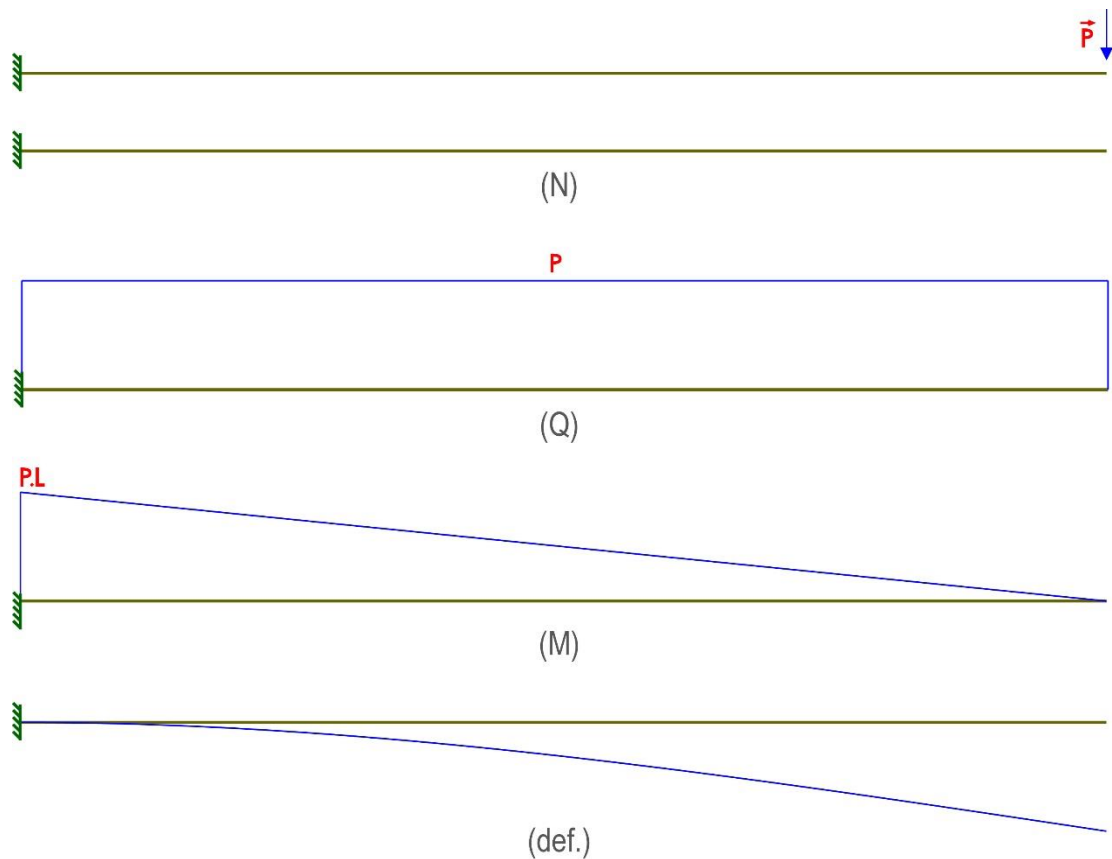


Figura 14 – Modelo da vara de pesca com carga perpendicular

Assumiu-se uma forma qualquer como carregamento do sistema. Dado os diagramas e os esforços, é possível prever a secção transversal necessária para que a barra resista ao carregamento aplicado, processo que recebe o nome de dimensionamento. Entretanto, os esforços que aparecem na imagem acima está intimamente ligados ao modelo de referência. Qualquer ligeira mudança em uma daquelas condições de contorno anteriormente dadas muda completamente os esforços e interfere, portanto, no dimensionamento final.

Por exemplo, quando o peixe é fígado a linha não permanece perpendicular ao corpo da vara o tempo todo. Enquanto o peixe nada para fugir do anzol, a linha assume uma série de ângulos dentro de um certo intervalo. Limitado ao plano bidimensional, assumiu-se uma carga inclinada tal que suas componentes “ $f_x = -0,6 P$ ” e “ $f_y = 0,8 P$ ”, resultando na mesma magnitude final da força inicialmente proposta, “ P ”. O novo modelo encontra-se na figura 15.

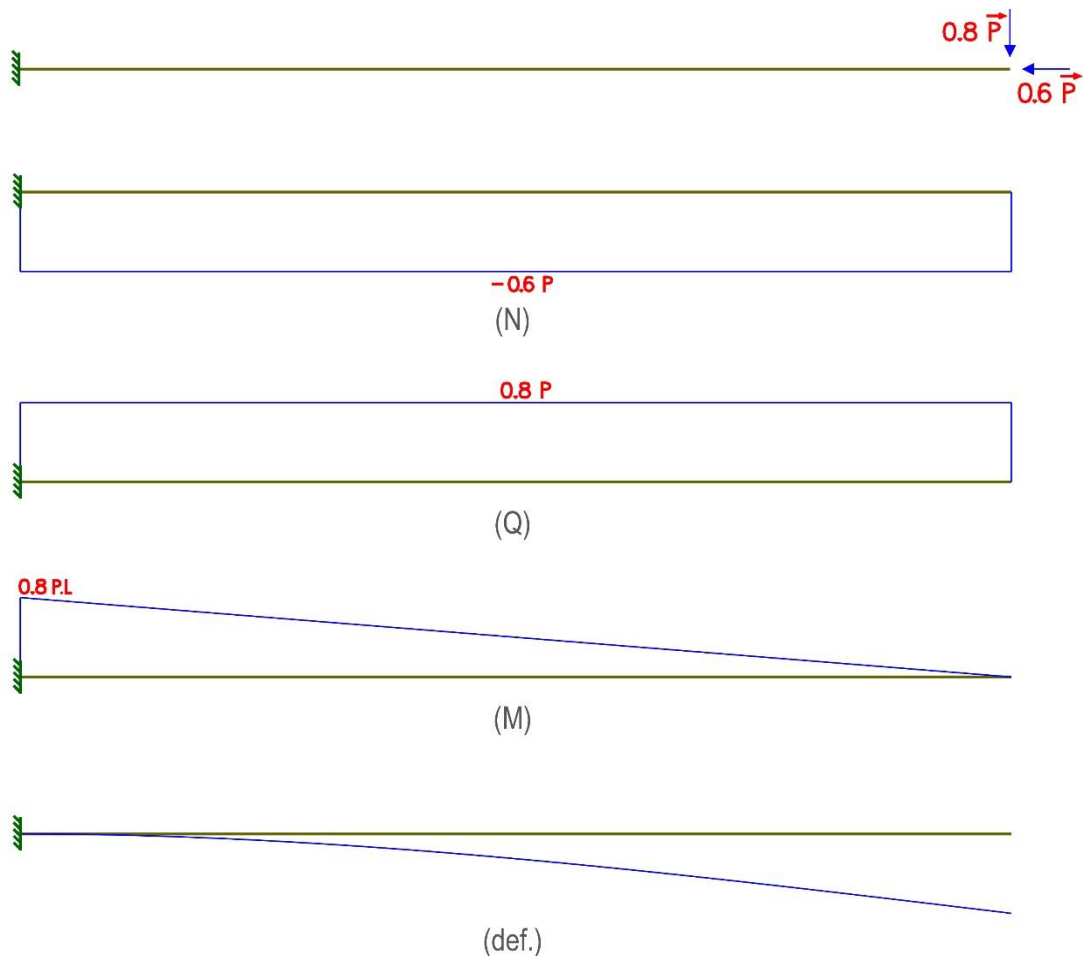


Figura 15 – Modelo da vara de pesca com carga inclinada

A diferença entre as duas hipóteses é nítida e pode-se observar uma redução significativa no cortante e no momento de 20%, e o aparecimento de um esforço normal. Mais uma vez, pode-se dimensionar com os esforços obtidos dessa nova hipótese de cálculo e chegar a um resultado completamente diferente para o mesmo problema. Com isso surge a pergunta, qual deles representa fielmente a realidade? Nenhum. Um modelo não consegue representar fielmente a realidade devido ao excessivo número de variáveis, o que tornaria o problema grande demais. Portanto, deve-se construir um modelo que leve em consideração somente as variáveis mais importantes.

Levando em conta o que foi dito acima, pode-se contestar os parâmetros assumidos inicialmente para verificar a existência ou não de um bom modelo. Dentre os parâmetros citados, os dois últimos são os piores, pois sabemos que existe uma variação na inclinação da linha durante a atividade de pesca e que as deformações da estrutura são visíveis e provocam modificação nos esforços. Por outro lado, limitar-se

ao plano bidimensional é uma simplificação muito boa, dado que a geometria do problema é composta por 3 pontos, o peixe, a ponta e o apoio da vara, o que sempre define um único plano.

Um parâmetro igualmente ruim é a consideração do engaste no apoio da vara, pois no momento em que o peixe puxa a linha pela primeira vez a vara sofre um certo giro na mão do pescador despreparado, o que leva a um alívio nos momentos decorrentes dessa situação, quando o pescador puxa a vara gerando rotações opostas aquelas provocadas pelo peixe, a situação se inverte levando a um acréscimo nos momentos. Então a pescaria continua com esse ritmo, o pescado puxa a vara pra si e alivia a mesma para puxar a linha, produzindo um efeito intermitente no objeto em análise.

Avançando na análise, o modelo da vara de pesca pode levar em conta ainda uma faixa de variação do ângulo entra e linha e o corpo da vara, os esforços de segunda ordem e um acréscimo no momento do engaste devido aos efeitos acima discutidos.

Com essa primeira análise crítica do problema pode-se construir nosso primeiro modelo e dimensionar a primeira vara de pesca para ser testada. Com o uso, novas variáveis surgirão e novos modelos serão criados para o dimensionamento de novas varas e o ciclo não tem fim. O processo é muito parecido com o conhecimento empírico, com a diferença de que o esse não apresenta uma fase analítica e em consequência disso progride de forma mais lenta.

O mesmo processo vale para o dimensionamento, onde será contestado um parâmetro como “secção transversal constante”. O esforço predominante numa viga, modelo utilizado para a vara de pesca, é o momento fletor. Pelos dois modelos anteriormente apresentados, observa-se que há uma diminuição do momento fletor do apoio para a ponta, motivo pelo qual as varas hoje construídas apresentam uma menor secção transversal na ponta e uma maior na base.

O entendimento do comportamento estrutural da casa Xavante é bastante difícil quando se leva em conta a grande variedade de parâmetros a serem analisados. É comum que os problemas de engenharia sejam muito complicados para uma análise direta, portanto os engenheiros costumam simplificá-los.

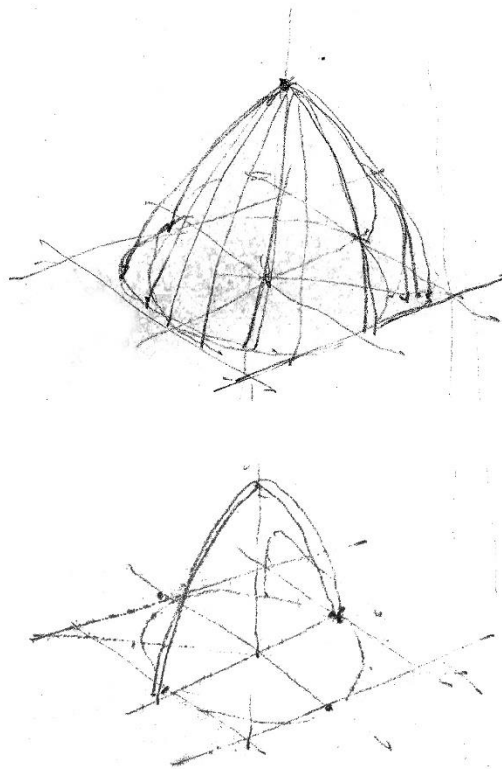


Figura 16 – Desconstrução da habitação

A simplificação leva ao modelo, como anteriormente exposto, e então a compreensão e resolução do problema. O presente trabalho pretende trilhar um caminho para a compreensão preliminar da oca Xavante à partir de modelos bidimensionais.

De acordo com a construção da casa, o primeiro modelo a ser considerado é uma viga exatamente como a apresentada no exemplo da vara de pesca. Giaccaria e Heide (1932) expõem que as varas cravadas no chão de meio em meio metro formando um círculo, são posteriormente puxadas para o centro e amarradas em uma haste muito mais grossa. Assume-se que todas as varas são iguais e toma-se uma como exemplo.

Olhando criticamente para o modelo é possível apontar algumas divergências em relação a realidade, entre elas: a forma reta da barra e o engaste da base. Considerar a forma reta para a haste é razoável, uma vez que as haste são selecionadas pelos índios. O apoio por outro lado não representa a fundação da oca de forma adequada, visto que o solo não tem uma rigidez tão grande nas primeiras camadas. O mais provável é que ele ofereça uma resistência intermediária entre a

rótula e o engaste, a figura 17 mostra um esquema de como a rigidez do solo influencia na estrutura.

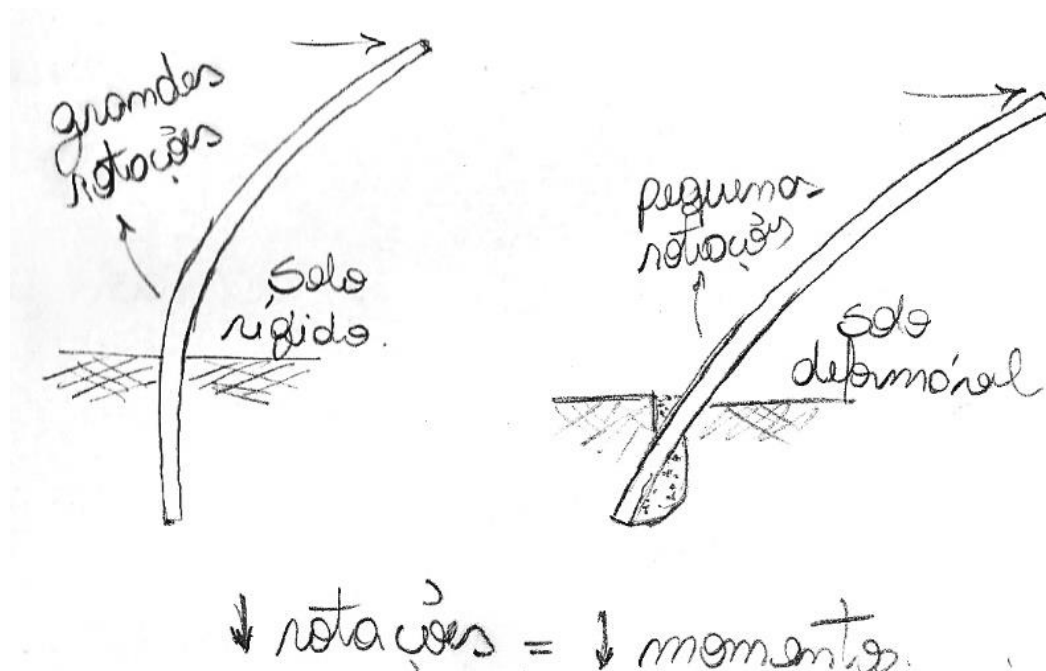


Figura 17 – Influência da rigidez do solo na estrutura

O desenho acima propõe um alívio no momento que surgem na peça conforme o solo cede. Uma vez que a deformação final é constante, pois sabemos que as hastes são puxadas até o centro da futura casa, quanto mais o solo ceder, menos a vara precisa deformar para chegar ao ponto de amarração. Apesar de não apresentado, se o solo ceder o suficiente para virar uma rótula ideal, a haste não precisaria se deformar para chegar ao centro da habitação, e portanto não haveriam esforços sobre a peça.

O problema acima apresentado foi discutido por Broms em seu método de ruptura de estacas. A fundação da nossa peça, a parte dela enterrada, é uma estaca de topo livre. Apesar da falta de informação específica, sendo ela curta ou longa, as características relevantes apresentadas na figura 18 são iguais nos dois casos: a rotação do topo da estaca, ou apoio da estrutura, e o deslocamento lateral da mesma. Os esforços cortantes e os momentos apresentados na figura são irrelevantes para os objetivos do presente projeto.

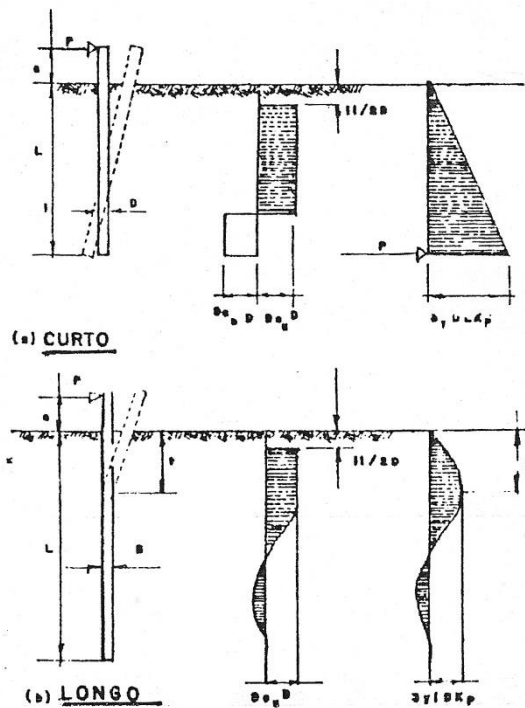


Fig. 30 - Mecanismos de Ruptura (Topo Livre)
 Figura 18 – Metodo de Broms (CUNHA, p. 356)

Tendo em vista essas considerações, o modelo mais correto para representar essa peça seria o apresentado na figura 19 abaixo, que apresenta uma viga com 2 apoios elásticos, um referente ao momento e outro ao vínculo horizontal, e um apoio vertical rígido. Esse apoio horizontal elástico alivia os esforços sofridos pela barra, assim como os efeitos representados pela figura 17, porém em menor intensidade.

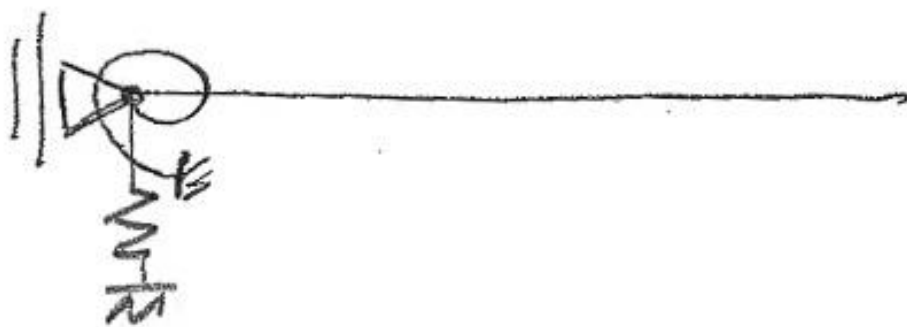


Figura 19 – Viga com 2 apoios elásticos (rotacionada em 90°)

Uma vez que a construção da edificação progride ao ponto em que as varas são amarradas umas às outras no centro, a influência da mola horizontal passa a ser muito menor. O deslocamento horizontal está bloqueado tanto pelo impedimento das amarrações no topo da edificação, como pela maior rigidez do solo já acomodado. Segundo Sussekind (1974, Vol 2, pg. 5) os esforços cortantes tem pouca influência sobre a deformações no arco, e conseqüentemente sobre o cálculo dos esforços. Optou-se por manter a mola de momento excluindo a mola horizontal.

O primeiro modelo da casa está apresentado abaixo, na figura 20.

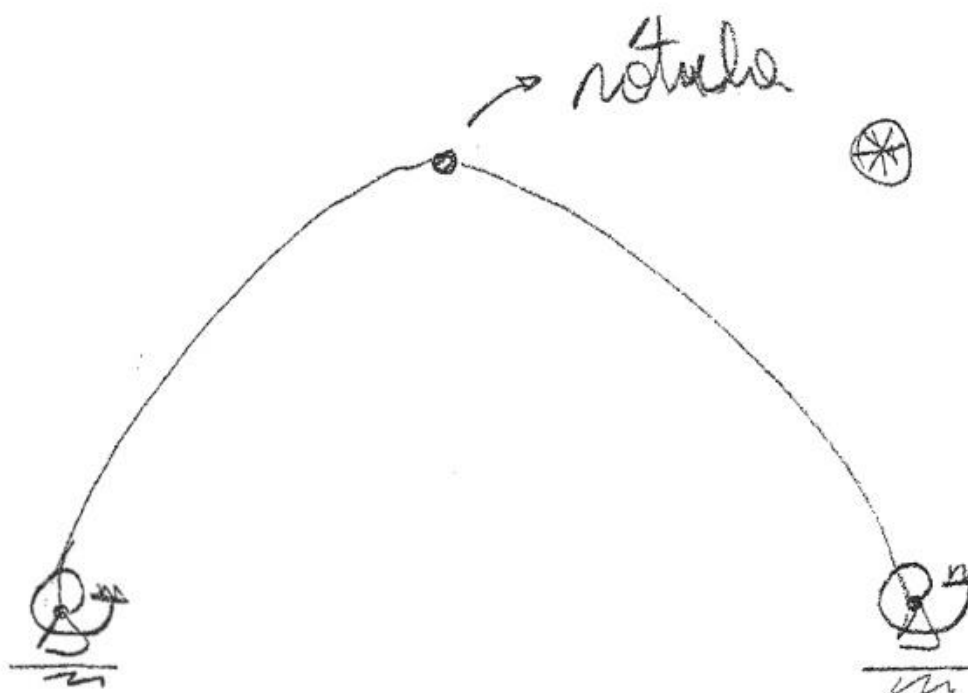


Figura 20 – Primeiro modelo da casa

Tomando o peso próprio como esforço desta análise preliminar da casa, traçou-se um esquema de direcionamento das cargas pela estrutura da casa até o chão. Com auxílio da figura 21, é possível ver o peso da edificação chegando até o chão através das hastes provocando o aparecimento das reações de apoio. A análise mais objetiva das hipótese foi deixada para o capítulo 4, nele serão apresentados os diagramas de momento fletor (DMF) e reações de apoio para cada modelo elaborado.

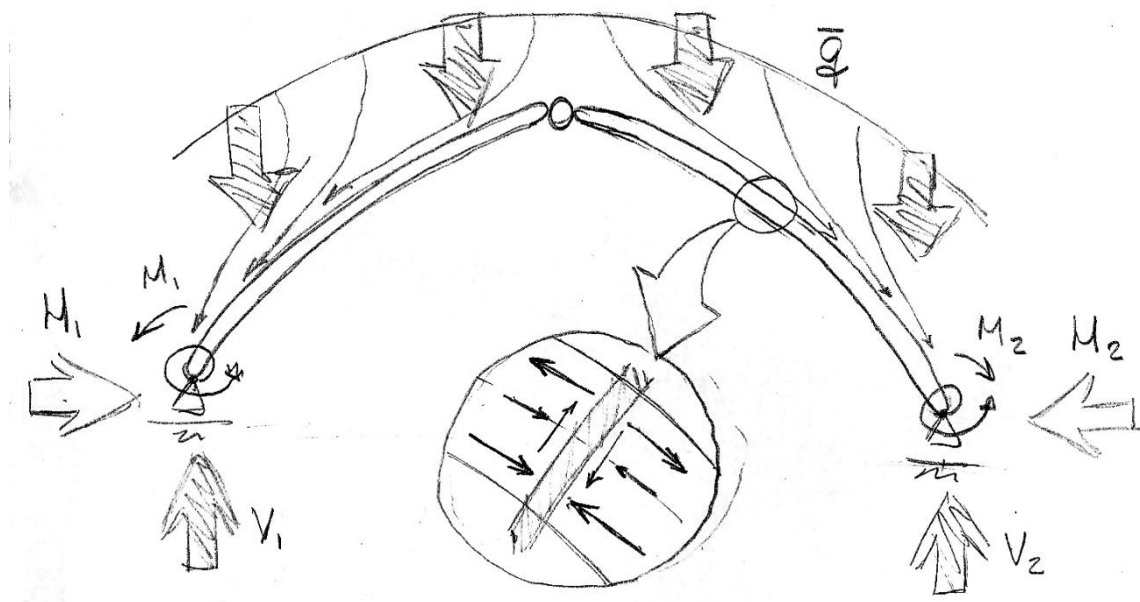


Figura 21 – Fluxo de cargas da figura 20

Tendo em vista estarmos analisando um problema tridimensional, e que as peças constituintes desse sistemas são corpos extensos, a interação entre elas não pode ser desprezada. Assim que os paus se encontram e são amarrados no topo da estrutura, forma-se aí um ponto notável, até então, representado por um rótula. Tal consideração surgiu da premissa que as duas hastes são amarradas em um único ponto, o que estaticamente dá a elas a liberdade de rodar em relação a esse ponto.

Entretanto, quando há o acúmulo dos vários galhos, aquele nó centra concentra uma multitude de amarras e galhos sem ordenação clara, como mostrado na figura 22. Como vale o princípio da impenetrabilidade, o aglomerado de galhos e amarras interfere na capacidade de rotação livre das peças. Soma-se a isso o atrito das amarras com as peças e entre elas para impedir a proposição da rótula como no modelo da figura 20 e 21

Por outro lado, a liberdade estática existe, pois apoio se dá em um único ponto e só o atrito e entroncamento entre as peças não seria suficiente para garantir o engaste perfeito. Propõe-se a substituição da rótula livre por uma mola que represente a liberdade de rotação garantida estaticamente àquele ponto, mas que contemple a resistência à rotação provocada pelo atrito das amarras e o entroncamento das partes no ponto de convergência.



Figura 22 – União confusa dos galhos no ápice da edificação (GIACCARIA e HEIDE, 1984, p. XX)

O impedimento acrescentado ao nó superior da estrutura gera uma alteração significativa no fluxo de cargas do arco. Quando mais rígido um componente da estrutura, mais carga ele toma para si. É esperado que com o enrijecimento do nó mais cargas sejam atraídas para aquele ponto, provocando a migração de uma parte dos esforços internos da parte inferior da edificação para a superior e consequente redução das reações de apoio.

Isto será melhor visualizado nos diagramas de esforços apresentados no capítulo seguinte. A figura 23 apresenta o modelo resultante da discussão anterior e o fluxo previsto de cargas.

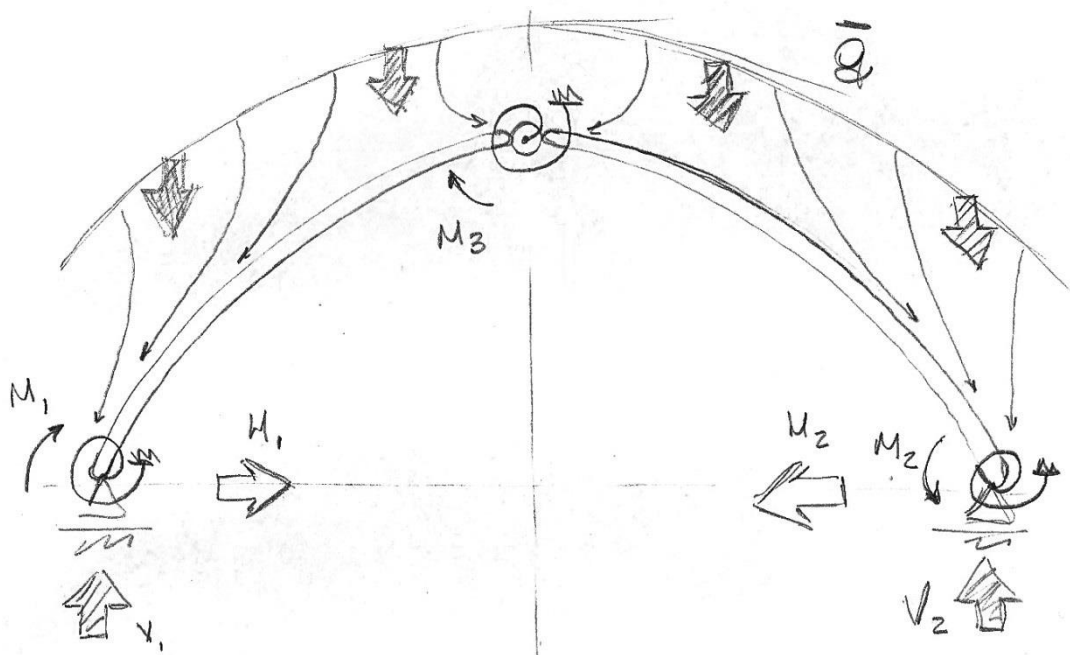


Figura 23 – Fluxo de cargas considerando a interação das peças na junção superior

A confecção da edificação progride para a amarração das “taquaras rachadas”, aqui classificadas como estrutura secundária. A partir do que foi apresentado no capítulo 2, é possível afirmar que tais peças foram adicionadas à estrutura sem o intuito de servirem à sustentação. Os autores consultados explicam que as hastes foram colocadas com a finalidade de prover o apoio adequado à fixação das folhas de palmeira que compõem a cobertura final, não havendo nos texto referência a uma possível função estrutural dessas peças.

Devido a geometria do arco, as cargas verticais quando percorrem seu caminho até o solo, provocam além das reações de apoio verticais, componentes horizontais que não existiriam no caso de uma viga. Isso se reflete na forma como o arco se deforma, com o afastamento das peças na base e rebaixamento do ápice, sob ação do carregamento proposto. A presença das taquearas rachadas impede esse deslocamento, principalmente na parte inferior onde as deformações são maiores, e absorve parte dos esforços que seriam responsáveis pelo aparecimento das reações de apoio horizontais. Apesar da aparente pouca resistências, as taquaras estão presentes em grande número, e portanto podem provocar uma alteração considerável na forma como a estrutura se comporta.

A justificativa para se considerar a função portante das taquaras rachadas é demasiadamente enraizada no conhecimento erudito, ao qual os indígenas não tinham acesso. Por esse motivo é improvável que os Xavante considerassem essa parte da estrutura como relevante para manter suas casas de pé.

Aliada à falta de conhecimento técnico-científico, há ainda um indício construtivo para acreditar que a estrutura secundária não era de grande relevância para a estabilidade da edificação, a seleção de suas peças. Os autores colocam que os galhos para a construção da estrutura principal eram selecionados para tal propósito, por outro lado nada é comentado em relação ao mesmo procedimento quando se trata das “taquaras rachadas”.

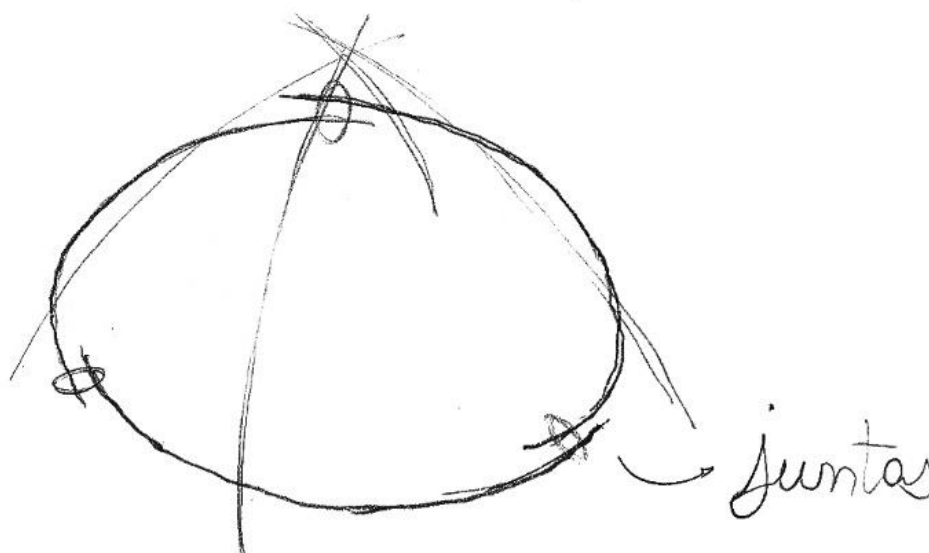


Figura 24 – Estrutura secundária para amarração da palha

O desenho da figura 24 representa um fenômeno visível também na figura 22, a descontinuidade das peças. Assumindo que uma casa pode chegar aos 7 metros de diâmetro, as taquaras posicionadas mais abaixo na edificação poderiam chegar a ter 20 metros de comprimento, se há necessidade de seleção para as hastes de 6 a 7 metros da estrutura principal, é improvável que se encontrem galhos tão grandes, e portanto há a necessidade de juntas.

Perante a limitação imposta pelo modelos bidimensionais para considerar as influências deste sistema tridimensional complexo sobre cada arco, optou-se por modelar a influência da estrutura secundária na edificação como uma série de molas.

Juntas e descontinuidades presentes neste sistema, além da capacidade de deformação das próprias peças, servem de pretexto para modelar a influência dele na edificação como apoios elásticos no lugar de rígidos.

A figura 25 apresenta o modelo idealizado para contemplar a discussão acima e o respectivo fluxo de cargas.

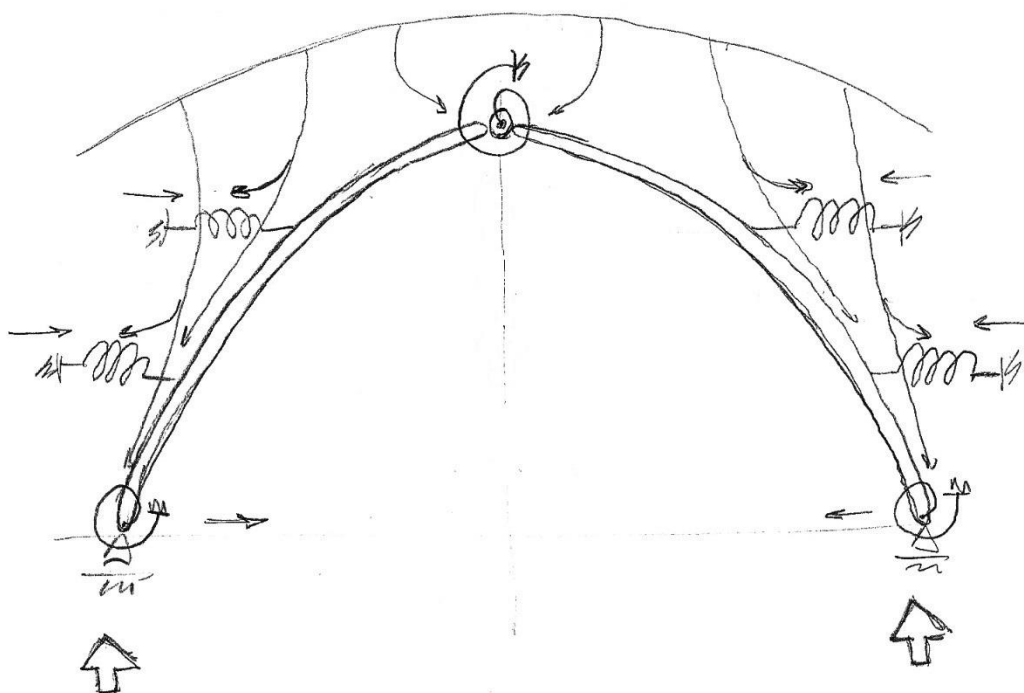


Figura 25 – Fluxo de cargas considerando a influência da estrutura secundária

Para melhor compreender o fluxo de cargas acima representados, é importante perceber o papel auxiliar dado pelas forças que se destacam rumo às molas horizontais à “força principal”, facilitando esta percorrer a forma em curva da estrutura, levando a menores deformações e reações de apoio horizontais, como anteriormente dito. Os outros efeitos desta adição ao modelo serão melhor esclarecidos no capítulo seguinte.

Conforme o modelo acima apresentado, as “taquaras rachadas” exercem a função estrutural de tirantes, quando consideradas como sistema auxiliar a estrutura principal. A afirmação baseia-se na diferença significativa de secção transversal entre as taquaras e as hastes fincadas no solo. Individualmente, as elas podem ser tratadas como uma viga contínua que suporta o peso das folhas de palmeira.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISE COMPUTACIONAL

Para melhor compreender os esforços desenvolvidos na casa Xavante, optou-se por uma análise computacional assistida pelo programa *Ftool*. Trata-se de um programa de cálculo de estruturas bidimensionais, compostas por barras retas desenvolvido na PUC-Rio pelo Prof. Luiz Fernando Martha. O objetivo principal do programa é didático e aplica-se muito bem a esse trabalho que visa entender a estrutura e não propriamente dimensioná-la.

4.1. Ajuste do arco ao *Ftool*

O programa escolhido para fazer a análise da habitação não aceita linhas curvas na entrada de dados, apenas retas. Com isso, o arco anteriormente estudado será entendido pelo programa como um polígono. Para evitar grandes divergências entre o arco e o polígono do *Ftool*, é necessário descobrir quantos lados esse polígono deve ter para representar fielmente um arco.

Para tal, foi anexado a esse projeto um trabalho de autoria própria com a solução teórica de um arco tri-articulado sob ação do peso próprio. O trabalho do Apêndice 1 foi desenvolvido com propósito didático e apresenta apenas as parcelas do momento fletor e do esforço normal correspondente ao esforço cortante, que segundo Süsskind (1974, Vol 2, p. 5) deveria ser desprezível.

A tabela abaixo apresenta todos os valores relevantes contidos no Apêndice 1.

Peso Específico		$1900 \text{ kgf}/\text{m}^3$
Raio		$1,75 \text{ m}$
Secção Transversal	Base	1 m
	Altura	$0,2 \text{ m}$
Mód. Elasticidade		8 MPa
Flecha		$0,2394 \text{ m}$

Tabela 1 – Dados do Apêndice 1

Como o resultado final do trabalho foi a flecha vertical no meio do vão, essa será comparada com os resultados encontrados no *Ftool*.

Os dados para a construção do polígono foram retirados do programa *SketchUp*, que também processa arcos e círculos como polígonos com números de lados a escolha do usuário. Os polígonos construídos pelos *SketchUp* estão inscritos no círculo real, por isso foram coletados os dados dos vértices para a transferência.

De posse dos pontos pertencentes ao círculo, estes foram modelados no *Ftool* e adequados parâmetros da tabela acima. Com isso foram calculadas as flechas e comparadas ao valor teórico.

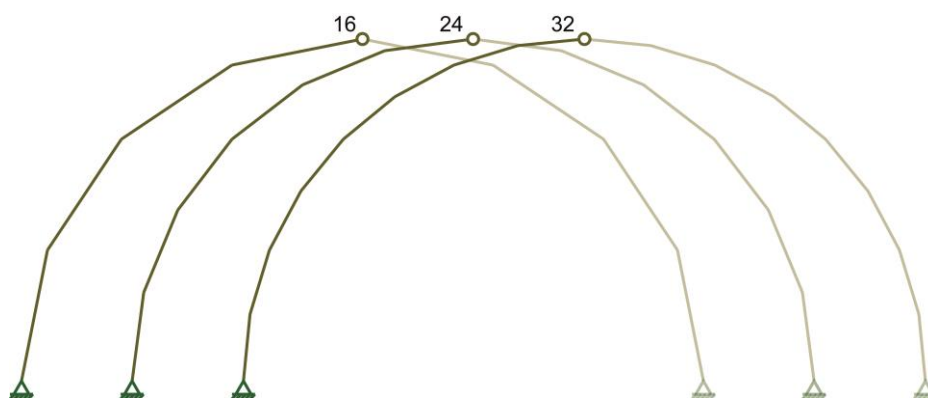


Figura 26 – Sequência de alguns segmentos testados

Foram construídos círculos de 16 até 92 segmentos, semicírculos de 8 a 46, para que fosse possível observar a convergência das flechas. O gráfico com as flechas em relação ao número de segmentos apresenta-se abaixo.

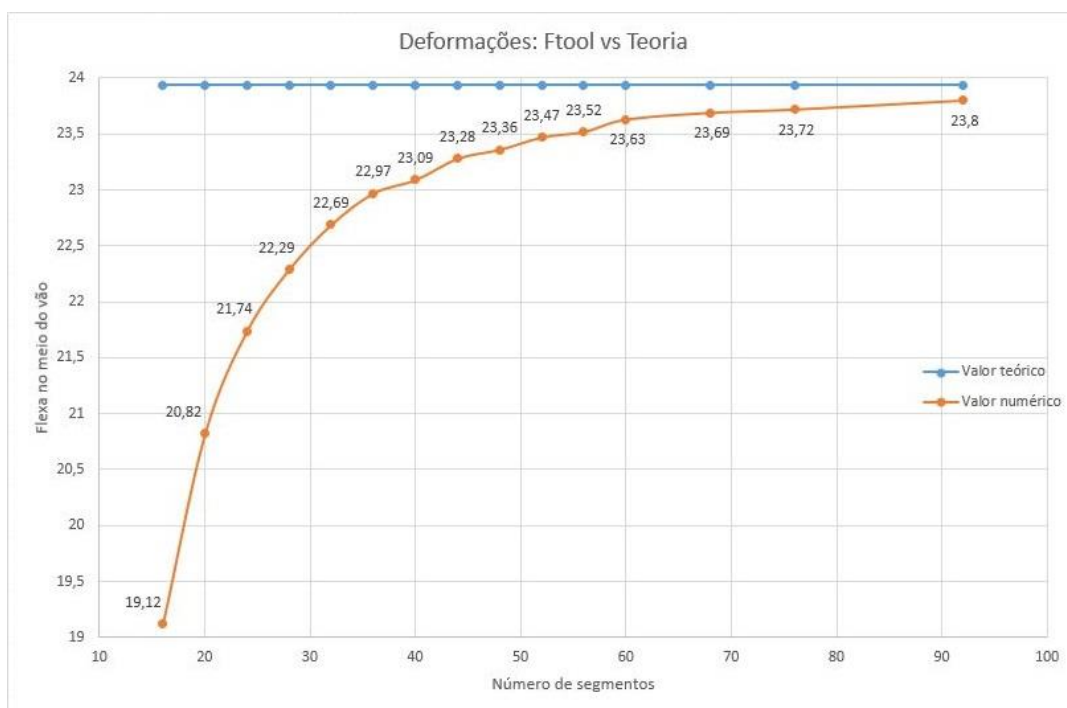


Figura 27 – Convergência do resultado teórico com o do Ftool (un. “cm”)

No gráfico acima é possível observar que os valores numéricos se aproximam do valor teórico em uma linha assintótica conforme o número de segmentos aumenta.

O número de segmentos utilizados para a construção do gráfico não é suficiente para verificar-se uma convergência completa, entretanto, adotou-se 1,5% como um valor aceitável para a diferença entre o resultado numérico e o teórico. O primeiro arco que apresenta uma diferença menor que esta é o de 60 segmentos, portanto este.

Uma vez desconhecida a equação do arco ogival que descreve a habitação em estudo, utilizou-se um setor circular com medidas aproximadas às da cabana, valores máximos aproximados de 4,5m de altura e 3,5m de base. Este setor será retirado de um círculo com raio de 5 m, e como o estudo anteriormente feito foi para um raio de 1,75 m, é necessária uma correção.

O tamanho do segmento pode ser encontrado pela equação abaixo:

$$\Delta l = \pi D / n$$

Onde: “ Δl ” é o tamanho de cada segmento, “ D ” é o diâmetro do círculo e “ n ” é o número de segmentos.

Caso mantenha-se o comprimento do segmento constante, quanto maior for o objeto, mais segmentos usaremos para modelá-lo, mantendo assim a precisão do estudo. Temos, portanto, que o comprimento do segmentos deve ser menor ou igual que:

$$\Delta l = 3,5 \cdot \pi / 60$$

$$\Delta l = 0,183 \text{ m}$$

O número de segmentos necessários para um círculo de 5 m seria:

$$n = 10 \cdot \pi / 0,183$$

$$n = 171,671$$

Por motivos de construção adota-se o múltiplo de 4 mais próximo, portanto “ $n = 172$ ”.

4.2. Dados do modelo

A escolha do setor circular para representar a casa seguiu 2 regras básicas. A primeira foi que as retas tangentes inicial e final não poderia ter inclinação de 90° e 0° respectivamente. Tais limitações representam a inclinação, na base e o ápice da estrutura, assumida pela vara entre as etapas de cravação e amarração no “pau muito mais grosso”. A segunda é que as dimensões da casa sejam respeitadas, por volta de 3,5 m de raio de base e 4,5 m de altura.

A forma final da cabana foi descrita por um setor de aproximadamente $69,1^\circ$, compreendido entre os ângulos $4,2^\circ$ e $73,3^\circ$ do primeiro quadrante, formado por 33 segmento de 0,183 m de comprimento. Na configuração acima, a edificação ficou com 3,546 m de raio de base e 4,423 m de altura e com inclinação das retas tangentes na base e no topo de $84,8^\circ$ e $17,8^\circ$ respectivamente. Os pares ordenado inseridos no *Ftool* estão expostos na tabela.

X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
3,547	0,000	3,162	1,591	2,284	2,972	1,007	3,995
3,530	0,182	3,087	1,757	2,160	3,105	0,846	4,082
3,507	0,363	3,007	1,921	2,030	3,235	0,682	4,162
3,477	0,543	2,920	2,082	1,897	3,359	0,516	4,237
3,440	0,722	2,828	2,240	1,758	3,478	0,346	4,305
3,397	0,900	2,730	2,394	1,616	3,592	0,174	4,367
3,348	1,075	2,626	2,544	1,469	3,701	0,000	4,423
3,292	1,249	2,517	2,691	1,319	3,805	-	-
3,230	1,421	2,403	2,833	1,165	3,903	-	-

Tabela 2 – Pares ordenados do arco

A rigidez do arco será composta por 2 parâmetros: “I” e o “E”.

O momento de inércia “I” depende da secção das peças que a partir da informação apresentada no capítulo 2, tem forma circular e diâmetro de 15 cm na base. Observando a figura 22, nota-se uma redução da secção transversal das peças

conforme ela se afasta do chão devido a forma natural de crescimento dos galhos. Sem informação específica sobre a variação de secção dos galhos, assumiu-se uma redução linear desde 15 cm até 4 cm de diâmetro. Como o *Ftool* não consegue criar peças com secção variável, a variação das secção foi feita segmento a segmento, da base para o topo, seguindo a tabela abaixo.

Seg.	Φ (cm)	Seg.	Φ (cm)	Seg.	Φ (cm)	Seg.	Φ (cm)
1	15	10	11	19	8	28	5
2	15	11	11	20	8	29	5
3	14	12	11	21	8	30	5
4	14	13	10	22	7	31	4
5	13	14	10	23	7	32	4
6	13	15	10	24	7	33	4
7	12	16	9	25	6	-	-
8	12	17	9	26	6	-	-
9	12	18	9	27	6	-	-

Tabela 3 – Diâmetro dos segmentos da base para o topo

O módulo de elasticidade “E” relaciona-se ao material do qual a peça é feita. Segundo os autores estudados, as peças são feitas de madeira, porém não há citação de uma espécie favorita. Num site⁵ sobre a serra do roncadour, aparecem as seguintes madeiras:

“Madeiras, tais quais angico-branco (*Anadenanthera colubrina*), angico (*Anadenanthera* spp), aroeira-branca (*Lithraea molleoides*), aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva*), cedro-rosa (*Cedrela fissilis*), monjoleiro (*Acacia polyphylla*), vinhático (*Plathymenia reticulata*), bálsamo-do-cerrado (*Styrax pohlii*), pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*), ipês (*Tabebuia* spp.), além...”

02/12/2014

Dentre as madeiras acima citadas, duas são da mesma espécie de madeiras encontradas na tabela A.1.1 de PFIEL (2003, p. 192): o cedro e o ipê. A parte da tabela referente a essas madeiras encontra-se apresentada abaixo na figura 28. Na tabela de classes de resistência do Prof. Romero (2003, p. 100), figura 29, foi encontrado

⁵ <http://www.novaera.serradoroncadour.com.br/index.php?/Flora/flora.html>

ainda o angico. Na mesma tabela pode-se constatar que a classe de resistência do cedro e do angico é C 20 e a do ipê é C 40.

TABELA A.1.1 Valores médios de resistência e módulo de deformação longitudinal, para $U = 12\%$, de madeiras dicotiledôneas nativas e de florestamento (NBR7190, 1996)

Nome comum (dicotiledôneas)	Nome científico	$\rho_{ap(12\%)}$ (kg/m ³)	f_c (MPa)	f_t (MPa)	f_m (MPa)	f_y (MPa)	E_c (MPa)
Cedro Amargo	<i>Cedrella odorata</i>	504	39,0	58,1	3,0	6,1	9839
Cedro Doce	<i>Cedrella spp</i>	500	31,5	71,4	3,0	5,6	8058
Ipê	<i>Tabebuia serratifolia</i>	1068	76,0	96,8	3,1	13,1	18011

Figura 28 – Tabela das características das Dicotiledônias (Pfeil, 2003, p.192)

Espécie	f_{c0} (MPa)	$0.7 f_{c0}$ (MPa)	Classe $f_{c0,k}$ (MPa)
Eucalipto Grandis	40,30	28,21	20
Cedro Doce	31,50	22,05	20
Cedro Amargo	39,00	27,30	20
Eucalipto Umbra	42,70	29,89	20
Angico Vermelho	41,80	29,26	20
Peroba Rosa	42,50	29,75	20
Quarubarana	37,80	26,46	20
Ipê	76,00	53,20	40

Figura 29 – Classe de resistência das espécies de dicotiledônia (ROMERO, 2003, p. 100)

Sabendo que os índios precisavam de uma madeira flexível, e desconhecendo a espécie por ele utilizada, adotou-se as características médias da classe de madeira C 20, apresentadas na figura abaixo. Temos: “ $E = 9500 \text{ MPa}$ ” e “ $\rho = 650 \text{ kg/m}^3$ ”.

Tabela 5 – Classe de resistência das Dicotiledôneas

DICOTILEDÔNEAS
(valores na condição padrão de referência $U=12\%$)

CLASSES	f_{cok} (MPa)	f_{vk} (MPa)	$E_{co,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m ³)	$\rho_{aparente}$ (kg/m ³)
C 20	20	4	9500	500	650
C 30	30	5	14500	650	800
C 40	40	6	19500	750	950
C 60	60	8	24500	800	1000

Figura 30 – Classe de resistência das dicotiledônias (ROMERO, 2003, pg. 13)

Não há na literatura estudada nenhum comentário sobre o processo de secagem feito nas peças de madeira utilizadas na estrutura da casa, infere-se portanto que a madeira utilizada era verde. Segundo o professor Romero (2003, p. 8), a

madeira verde apresenta uma umidade de 25%, enquanto a tabela da figura 30 é feita para umidades de 12%. O Prof. apresenta uma equação de correção das características da madeira para umidades diferentes de 12%, a equação referente ao módulo de elasticidade (2003, pg. 12) está reescrita abaixo.

$$E_{U\%} = \frac{E_{12\%}}{\left[1 + \frac{2(U\% - 12)}{100}\right]}$$

Temos que o módulo de elasticidade a ser utilizado é dado por:

$$E_{25\%} = \frac{9500}{\left[1 + \frac{2(25 - 12)}{100}\right]}$$

$$E_{25\%} = 7539,682 \text{ MPa}$$

Adotou-se “ $E = 7540 \text{ MPa}$ ”.

A carga aplicada sobre a cabana será considerada em 3 partes: O peso próprio das peças da estrutura principal, o peso das peças da estrutura secundária e o peso da palha de cobertura.

O peso próprio das peças da estrutura principal foi representado por uma carga distribuída e pode ser encontrado pela equação abaixo.

$$q_{PP \text{ por } seg} = \frac{\rho g \cdot \left(\frac{\pi D^2}{4} \cdot l_{seg}\right)}{l_{seg}}$$

Onde: “ ρ ” é a massa específica da madeira, “ g ” é a aceleração da gravidade, “ D ” é o diâmetro da secção do segmento e “ l_{seg} ” é o comprimento do segmento.

Dentre os parâmetros acima, o único que varia de segmento a segmento é o “ D ”, consequentemente provoca variação na carga aplicada sobre cada segmento. De forma a melhor representar os esforços aplicados na estrutura, calculou-se os carregamentos referentes a cada segmento e o carregamento final passou a ser a composição das diversas cargas calculadas aplicadas no modelo. As solicitações calculadas para cada segmento apresentam-se na tabela 4.

Seg.	q (N/m)	Seg.	q (N/m)	Seg.	q (N/m)	Seg.	q (N/m)
1	114,864	10	61,772	19	32,673	28	12,763
2	114,864	11	61,772	20	32,673	29	12,763
3	100,060	12	61,772	21	32,673	30	12,763
4	100,060	13	51,051	22	25,015	31	8,168
5	86,276	14	51,051	23	25,015	32	8,168
6	86,276	15	51,051	24	25,015	33	8,168
7	73,513	16	41,351	25	18,378	-	-
8	73,513	17	41,351	26	18,378	-	-
9	73,513	18	41,351	27	18,378	-	-

Tabela 4 – Carga distribuída por segmento devido peso próprio da estrutura principal

As peças que compõem a estrutura secundária da casa estão distribuídas ao longo das hastes da estrutura principal. Apesar de alguns autores proporem uma distância constantes para as varas, a figura 22 apresenta a casa com uma primeira fileira mais distante e as outra fileiras mais agrupadas. Adotou-se a primeira taquara como 60 cm do chão e as demais com 30 cm entre si. Para não prejudicar o modelo, as taquaras serão adicionadas no nó mais próximo a elas na estrutura. A tabela 5 mostra os nós, numerados no mesmo sentido dos segmentos, que contêm taquaras rachadas e seus comprimentos.

Nó	X (m)	Y (m)	L (m)	Nó	X (m)	Y (m)	L (m)
4	3,477	0,543	21,847	16	2,626	2,544	16,500
6	3,397	0,900	21,344	18	2,403	2,833	15,098
8	3,292	1,249	20,684	20	2,160	3,105	13,572
10	3,162	1,591	19,867	23	1,758	3,478	11,046
12	3,007	1,921	18,894	25	1,469	3,701	9,230
14	2,828	2,240	17,769	28	1,007	3,995	6,327

Tabela 5 – Posição e comprimento das taquaras rachadas

O comprimento total das taquaras rachadas é de aproximadamente 192 m, e seu peso deve ser dividido entre todas as peças que fazer parte da estrutura, 44 peças

para um raio de 3,547 m. O comprimento suportado por cada peça é de aproximadamente 4,4 m. Assumindo que as peças tenham 3 cm de diâmetro e sejam da mesma classe de madeira que a estrutura principal, temos que as taquaras exercem um peso de 20,216 N sobre cada peça da estrutura secundária. Por conta do baixo peso e da distribuição pouco espaçada, pode-se considerar que essa cargas está distribuída ao longo da estrutura, gerando um acréscimo de carga igual à:

$$q_{Est\ Sec} = \frac{20,216}{33 * 0,183}$$

$$q_{Est\ Sec} = 3,348\ N/m$$

A última parcela é devida à cobertura de folha de palmeira. Não há citação na literatura estudada da espécie de palmeira da qual é tirada a fibra para confecção da cobertura. A Planar Empreendimentos e Produtos Florestais LTDA e a Montana Química S.A. desenvolveram um trabalho com as características de diversas coberturas, desse trabalho foi retirada o trecho da tabela apresentada abaixo.

TIPO	QUANT. (und./m ²)	PESO (kg/m ²)	FOTO	INCLIN. MÍNIMA		ESPAÇ. RIPAS (cm)
				%	Graus	
Piaçava	2,5 (pentes)	25		36%	20°	20

Figura 31 – Tabela com as características da cobertura de piçava. (Plantar Empreendimentos e Produtos Florestais Ltda e Montana Química S.A, 2011)

Como única fibra natural da qual se tem referência, assumiu-se o peso dela para representar a fibra que cobre a habitação Xavante. Por ser um dado empírico, em geral, já considera uma taxa de sobreposição para garantir impermeabilidade e um certo coeficiente de absorção de água. O peso da cobertura pode então ser calculado como:

$$P = 25 \cdot g \cdot A$$

Onde: “g” é a aceleração da gravidade e “A” é a área da cobertura.

Com o valor da área da cobertura retirado do programa *SketchUp*, temos que o peso da cobertura é:

$$P = 25 \cdot 10 \cdot 84,371$$

$$P = 21092,750 \text{ N}$$

Dividido pelas 44 hastes que compõem a habitação, temos:

$$P/Haste = 479,363 \text{ N}$$

Sabe-se que o peso está distribuído numa área de forma próxima a triangular, e não pode ser considerada uma carga uniformemente distribuída. Dividiu-se portanto a área de cada barra em 33 partes, uma parte por segmento, e retirou-se do *SketchUp* a percentagem da área para cada segmento em relação a área total da haste, o resultado encontra-se na tabela abaixo.

Seg.	% da área	Seg.	% da área	Seg.	% da área	Seg.	% da área
1	4,812	10	4,249	19	3,021	28	1,268
2	4,785	11	4,144	20	2,848	29	1,038
3	4,748	12	4,030	21	2,669	30	0,814
4	4,703	13	3,908	22	2,484	31	0,586
5	4,650	14	3,779	23	2,293	32	0,353
6	4,587	15	3,642	24	2,097	33	0,119
7	4,515	16	3,498	25	1,895	-	-
8	4,435	17	3,346	26	1,688	-	-
9	4,346	18	3,186	27	1,476	-	-

Tabela 6 – Porcentagens da área de cobertura relativa a cada segmento do arco

As cargas por segmento podem ser calculadas como percentagens da carga total e divididas pelo comprimento do segmento para encontrar o acréscimo de carga distribuída sobre cada um segundo a equação abaixo.

$$q_{palha} = \frac{\%_{\text{área}} \cdot P / \text{Haste}}{l_{seg}}$$

A tabela abaixo mostra os acréscimos de carga correspondente a cada segmentos devido ao peso da palha.

Seg.	q (N/m)	Seg.	q (N/m)	Seg.	q (N/m)	Seg.	q (N/m)
1	126,049	10	111,301	19	79,134	28	33,215
2	125,342	11	108,551	20	74,603	29	27,190
3	124,372	12	105,565	21	69,914	30	21,322
4	123,194	13	102,369	22	65,068	31	15,350
5	121,805	14	98,990	23	60,064	32	9,247
6	120,155	15	95,401	24	54,930	33	3,117
7	118,269	16	91,629	25	49,639	-	-
8	116,173	17	87,647	26	44,217	-	-
9	113,842	18	83,456	27	38,663	-	-

Tabela 7 – Acréscimo de carga por segmento devido peso da palha

A soma das 3 parcelas calculadas dá a carga total distribuída por segmento, encontrada na tabela 8.

Seg.	q (N/m)	Seg.	q (N/m)	Seg.	q (N/m)	Seg.	q (N/m)
1	244,261	10	176,421	19	115,155	28	49,326
2	243,554	11	173,671	20	110,624	29	43,301
3	227,780	12	170,685	21	105,935	30	37,433
4	226,602	13	156,768	22	93,431	31	26,866
5	211,429	14	153,389	23	88,427	32	20,763
6	209,779	15	149,800	24	83,293	33	14,633
7	195,130	16	136,328	25	71,365	-	-
8	193,034	17	132,346	26	65,943	-	-
9	190,703	18	128,155	27	60,389	-	-

Tabela 8 – Carga total por segmento da haste

Por fim, as molas foram estimadas modelo a modelo comparando a situação de apoio e liberdade nos pontos de inserção com a equação abaixo:

$$K = \frac{R_{ap}}{\delta_{lv}}$$

Onde: “ R_{ap} ” é a reação que aparece na situação apoiado e “ δ_{lv} ” é o deslocamento na direção da mola na situação livre.

4.3. Cálculo dos modelos

Os modelos escolhidos para analisar a casa foram aqueles apresentados nas figuras 22, 24 e 26, além do arco tri-articulado como modelo inicial. Estes serão chamados de modelo 1, 2, 3, e 0, respectivamente.

O modelo 0 foi aqui colocado para servir de base de comparação para os outros. Na figura 32, pode-se ver o arco com os carregamentos, além do diagrama de momentos fletores e deformações.

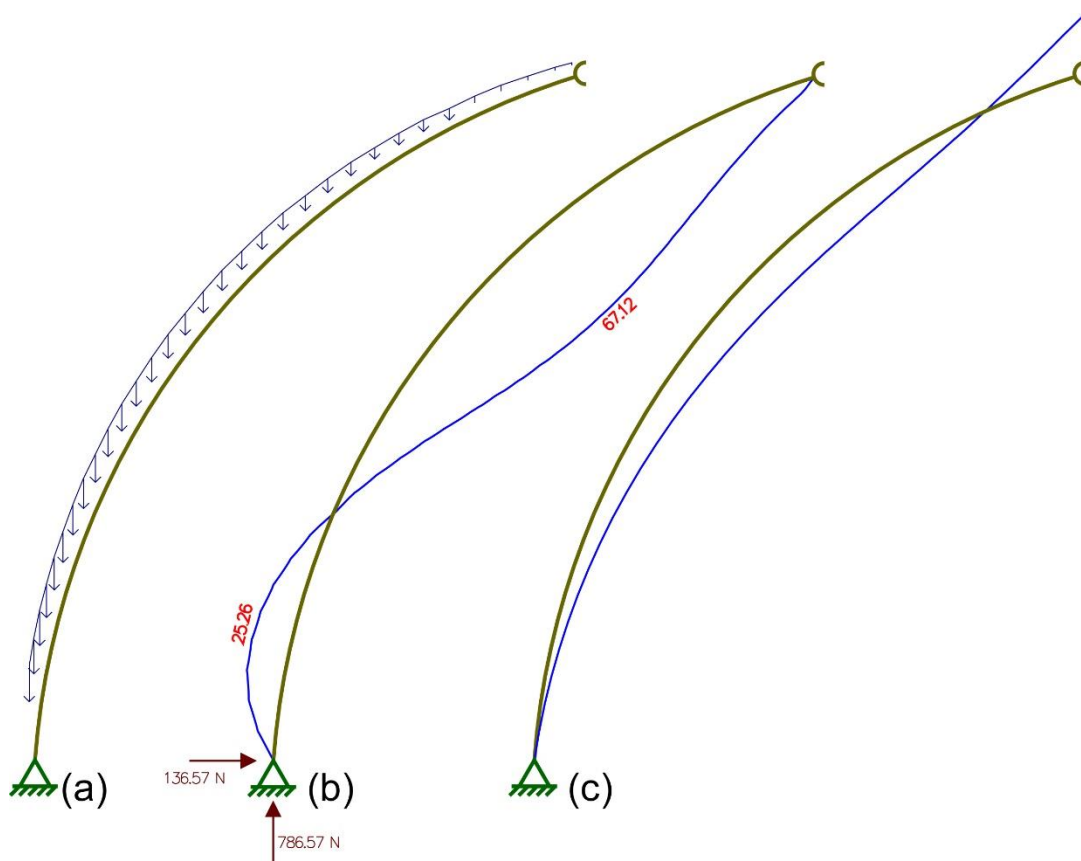


Figura 32 – Arco tri-articulado (a) carregamento (b) momentos fletores (c) deformações

Devido a difícil visualização, a tabela abaixo apresenta os valores das reações de apoio do vínculo.

Reação V	786,57 N
Reação H	136,57 N
Momento	0 Nm

Tabela 9 – Reações de apoio do modelo 0

Para estimar o coeficiente da mola proposta no modelo 1, foi necessária a criação de um caso onde os apoios de segundo gênero foram substituídos por engastes, ambos estão apresentados na figura 33. De posse do momento de engaste e da rotação livre, apresentados na tabela 9, foi possível calcular o coeficiente pela equação proposta no capítulo 3.2 (p. 47).

Rotação	$3,640 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$
Momento	128,17 Nm
K^1	35,21 kNm/rad

Tabela 10 – Rotação, momento e K^1 estimado.

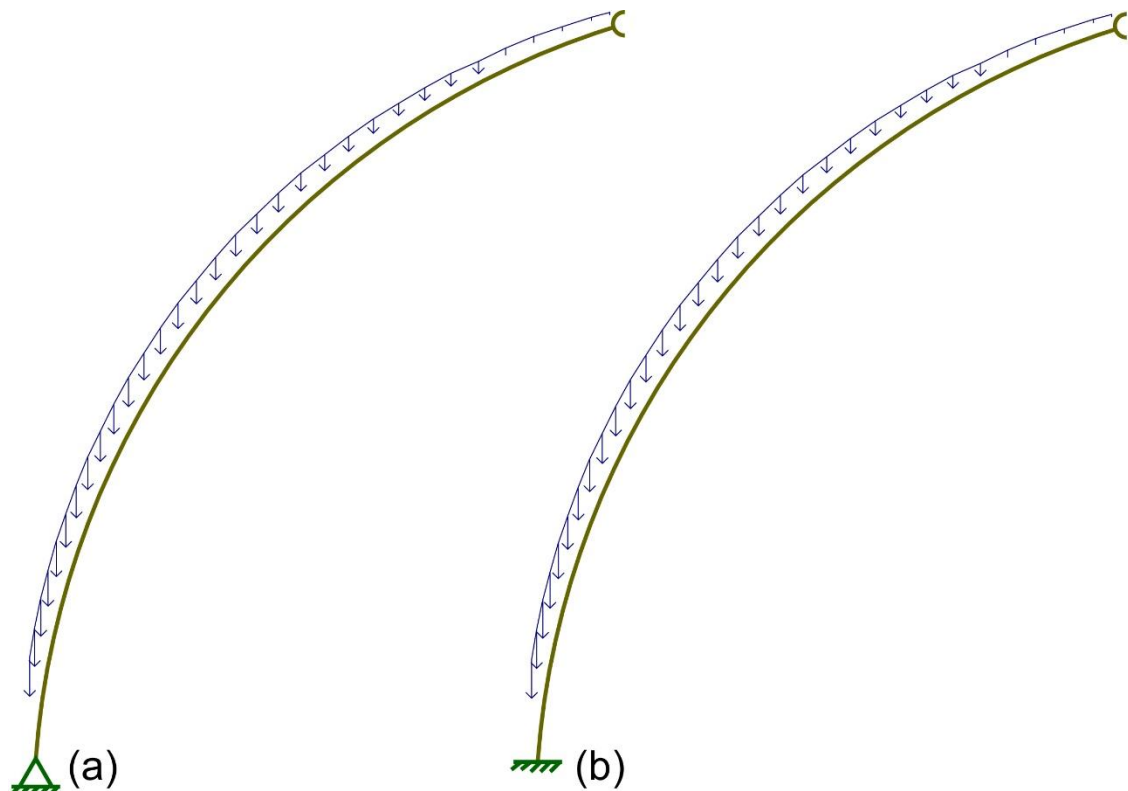


Figura 33 – (a) Caso livre (b) Caso engastado

O modelo 1 está apresentado na figura 34, com seu diagrama de momentos fletores e deformações.

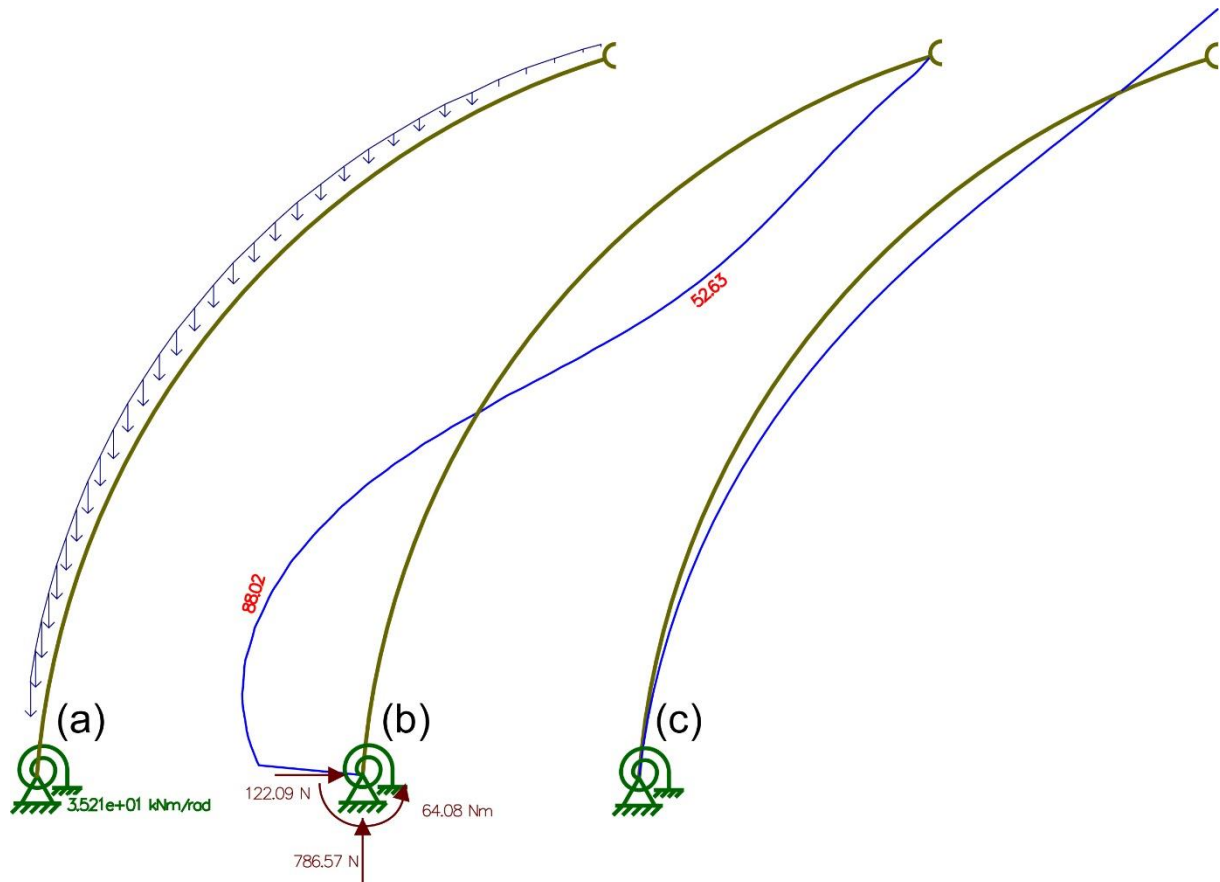


Figura 34 – Modelo 1 (a) carregamento (b) momentos fletores (c) deformações

A partir do que foi considerado, tem-se os valores abaixo.

Reação V	786,57 N
Reação H	122,09 N
Momento	64,08 Nm

Tabela 11 – Reações de apoio do modelo 1

Seguindo a mesma lógica anterior, a mola proposta para o modelo 2 foi estimada levando em conta as influências da mola adicionada no modelo 1. A razão para isto, deve-se ao fato de que na construção da casa quando a mola do modelo 2 é introduzida, a mola do modelo 1 já estava dada. Na tabela abaixo estão apresentados: a deformação do caso livre, o momento do caso engastado e o K^2 estimado.

Rotação	$2,074 \cdot 10^{-2} \text{ rad}$
Momento	$24,84 \text{ Nm}$
K^2	$1,19 \text{ kNm/rad}$

Tabela 12 - Rotação, momento e K^2 estimado

Na figura 35, apresenta-se o modelo 2, com seu diagrama de momentos fletores e deformações.

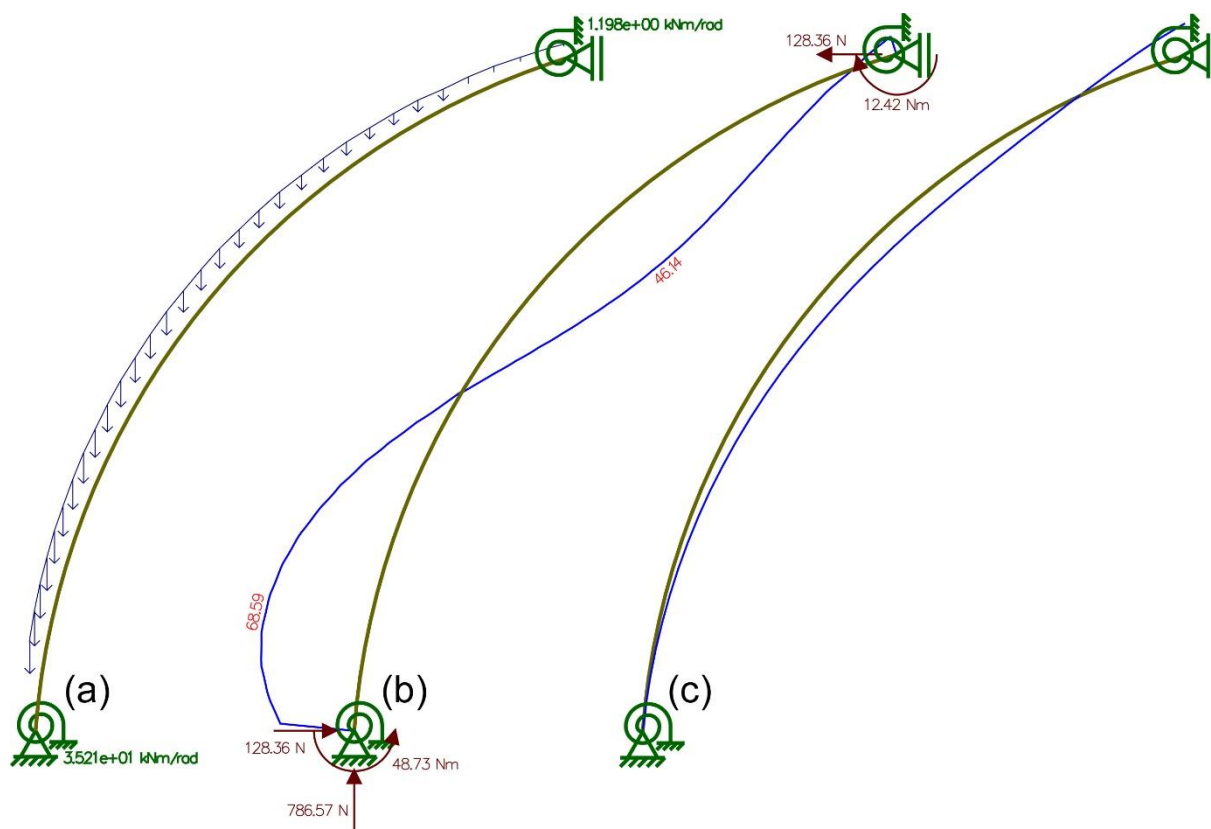


Figura 35

Figura 35 – Modelo 2 (a) carregamento (b) momentos fletores (c) deformações

As reações de apoio do modelo 2.

Reação V	$786,57 \text{ N}$
Reação H	$128,36 \text{ N}$
Momento	$48,73 \text{ Nm}$

Tabela 13 – Reações de apoio do modelo 2

Para estimar as molas que representam a estrutura secundária, foram colocados apoios horizontais nos pontos de inserção das molas, isoladamente, resultando na obtenção das forças horizontais naqueles pontos. As deformações foram retiradas do modelo 2 nos mesmo pontos. A tabela 14, apresenta os deslocamentos, as forças e os K^3 estimados de cada mola.

Nó	Desl. (mm)	Força (N)	K^3 (kN/m)	Nó	Desl. (mm)	Força (N)	K^3 (kN/m)
4	0,799	210,18	262,79	16	5,095	91,21	17,90
6	1,397	139,01	99,51	18	5,727	93,66	16,35
8	2,061	111,67	54,18	20	6,177	97,88	15,84
10	2,973	99,02	33,31	23	6,313	108,64	17,21
12	3,567	93,11	26,10	25	5,927	120,02	20,25
14	4,353	90,82	20,86	28	4,513	149,82	33,19

Tabela 14 – Deslocamentos horizontais, flechas e K^3 estimados

Devido o valor relativo ao modelo 3, muito maior que aqueles encontrados para os modelos 1 e 2, e considerando ainda que a grande quantidade de molas apresenta uma situação complexa de difícil entendimento, o modelo 3 foi repetido reduzindo-se o K^3 em 10 vezes. Os dois casos, com os respectivos diagramas, estão apresentados nas figuras 37 e 38.

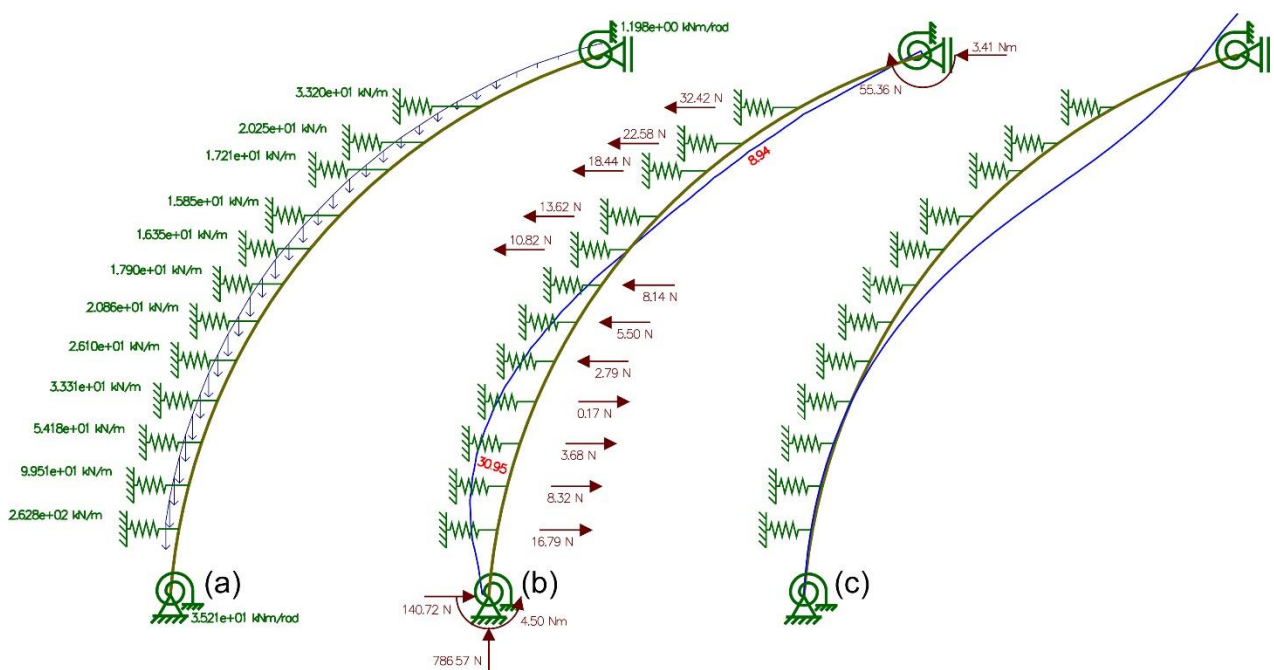


Figura 36 – Modelo 3, K^3 (a) carregamento (b) momentos fletores (c) deformações

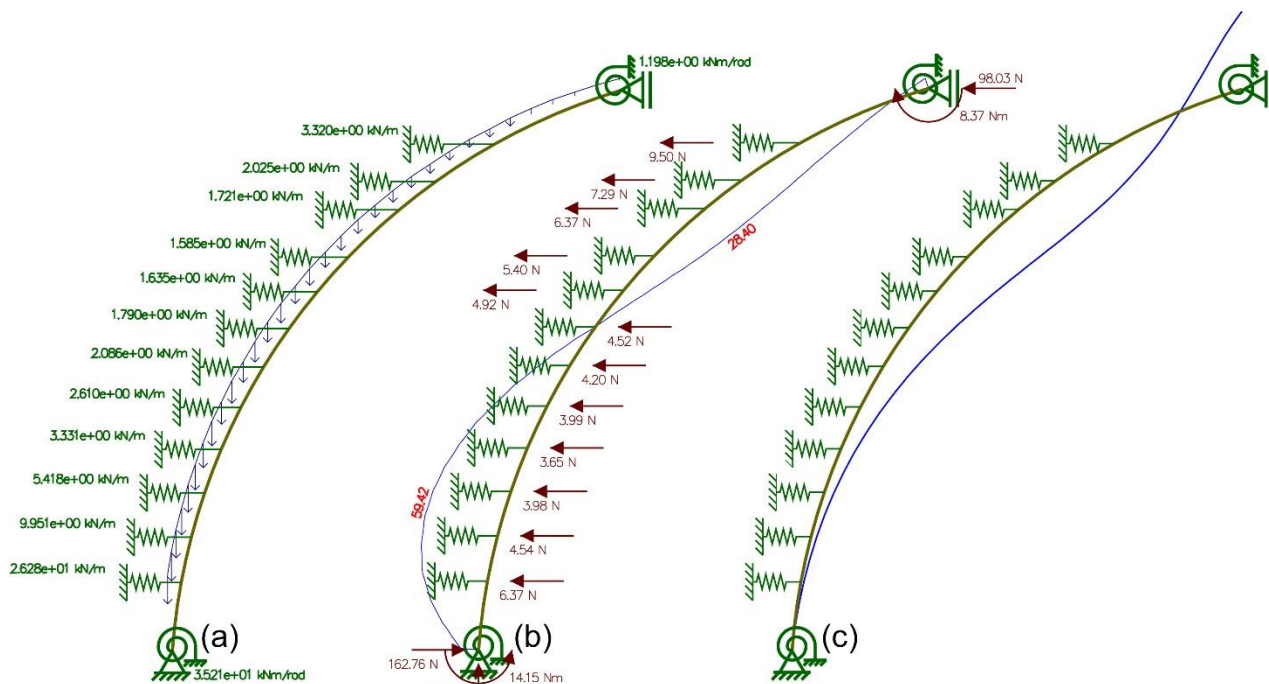


Figura 37 – Modelo 3, $K^3/10$ (a) carregamento (b) momentos fletores (c) deformações

As reações de apoio para os modelos estudados são apresentadas na tabela 15.

	K^3	$K^3/10$
Reação V	786,57 N	786,57 N
Reação H	140,72 N	162,76 N
Momento	4,50 Nm	14,15 Nm

Tabela 15 – Reações de apoio do modelo 3

4.4. Análise dos resultados

O modelo 0 apresenta um diagrama de momentos fletores com um forma geral similar ao apresentado pelo arco semicircular, entretanto as deformações calculadas pelo *Ftool* mostram uma situação peculiar.

Os dois pontos que causam estranhamento ao confrontar-se as deformações são o deslocamento vertical positivo na rótula e a rotação voltada para dentro do arco no apoio. Fato explicado pela baixa rigidez e pequenas cargas situadas na parte superior da estrutura quando comparada à parte inferior e à forma ogival da cúpula.

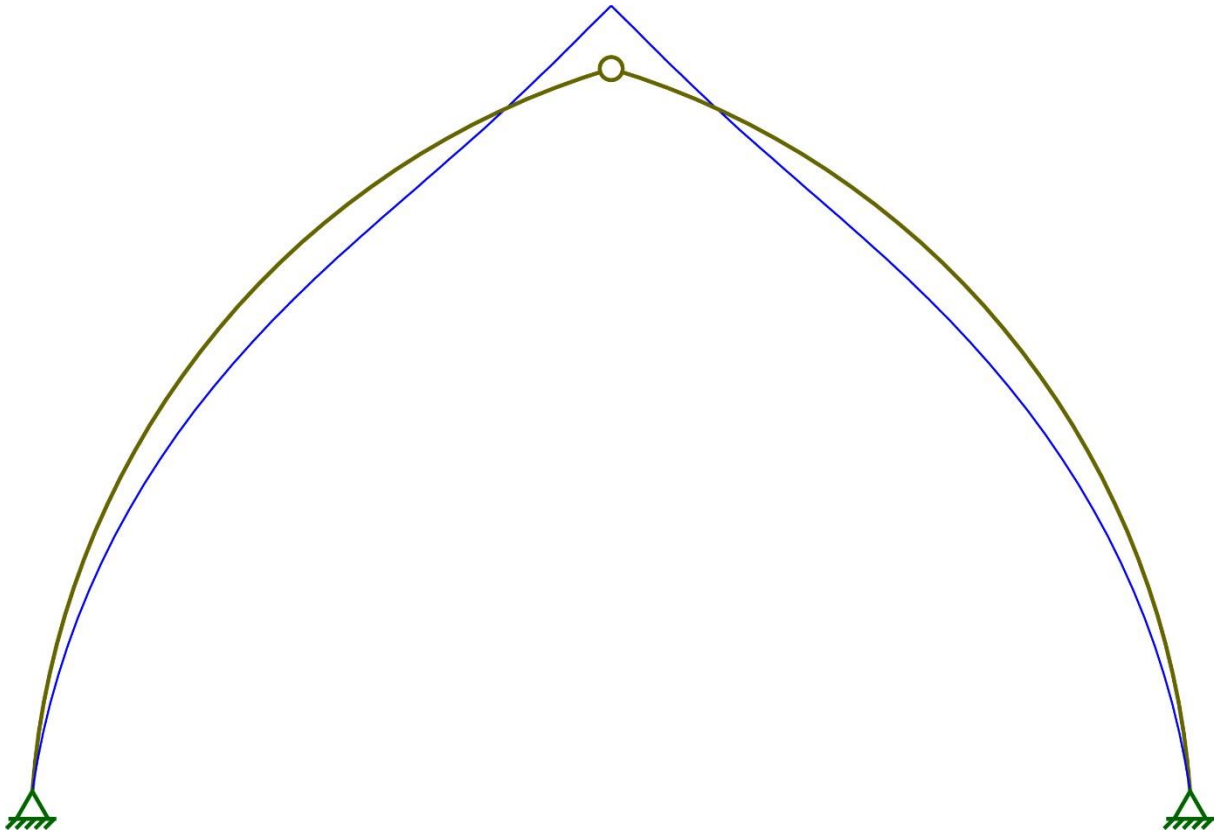


Figura 38 - Deformações do modelo 0

Em virtude da forma ogival, o comprimento onde se distribuem as cargas que provocam os momentos negativos na base do arco é reduzido, além disso, há um favorecimento dos momentos positivos devido a inclinação da tangente do arco no apoio do mesmo estar no primeiro quadrante, no apoio esquerdo, ou no segundo quadrante, no apoio direito. Aliado a esta situação, deve-se considerar ainda as pequenas cargas no topo, minorando os momentos negativos.

Quando se adiciona a mola e definimos o modelo 1, tem-se uma mudança significativa de comportamento. O enrijecimento da base, provoca maiores momentos negativos, aliviando os momentos positivos no ápice do arco. A influência desta alteração é visível, pois provoca a concentração da rigidez global da estrutura na base, favorecendo a concentração de cargas existentes nesse para essa parte da estrutura. Na figura 39 é possível observar os DEM lado a lado.

A concentração de cargas na base, apesar de ter provocado maior momento máximo, de 67,12 para -88,02, aliviou a parte mais frágil da estrutura reduzindo, assim, as deformações finais.

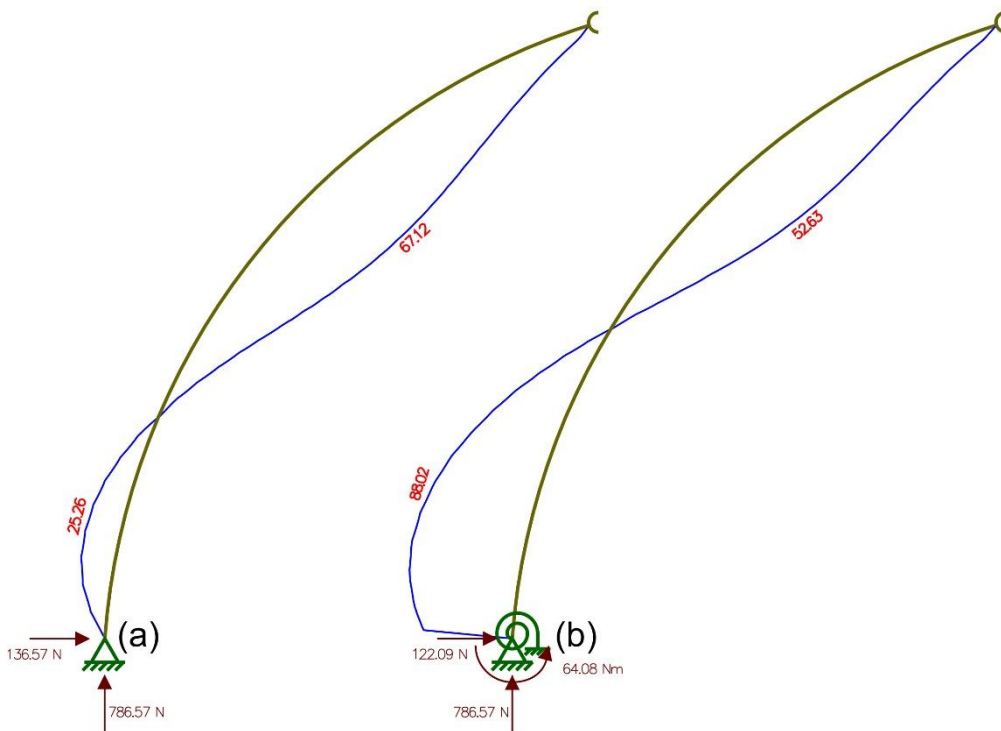


Figura 39 – (a) DEM do modelo 0 (b) DEM do modelo 1

Há também uma pequena redução na reação de apoio horizontal e o aparecimento da reação momento.

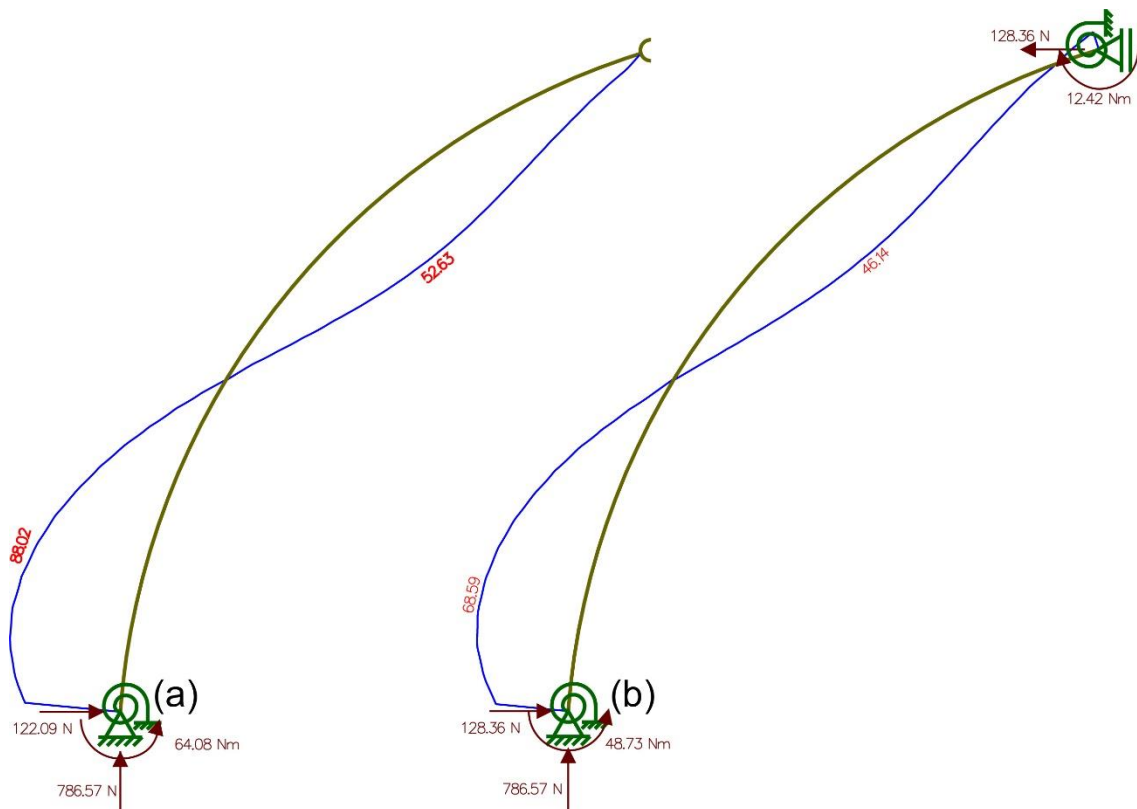


Figura 40 – (a) DEM do modelo 1 (b) DEM do modelo 2

No modelo 2, adicionou-se uma mola na parte superior da estrutura. Por ter menor rigidez, esperava-se pouca influência dessa alteração no comportamento global da edificação, porém ela teve papel importante na redução dos momentos da estrutura.

Pode-se observar na figura 40 que no modelo 2 houve redução tanto dos momentos negativo da base, como dos momentos positivos no topo do arco, provocados pelo aparecimento do momento negativo no seu ápice. Tais mudanças provocaram a redução geral das deformações sofridas pela estrutura. As reações de apoio apresentaram pouca alteração, sendo observada uma mudança significativa apenas no momento.

O modelo 3 apresentou para a aproximação da mola valores altos, muito fora da ordem de grandeza das duas primeiras. Por esse motivo os valores encontrados foram reduzidos em 10 vezes de forma a aproximá-lo aos números dos modelos 1 e 2, porém sem esquecer a aproximação original usada em todos os modelos.

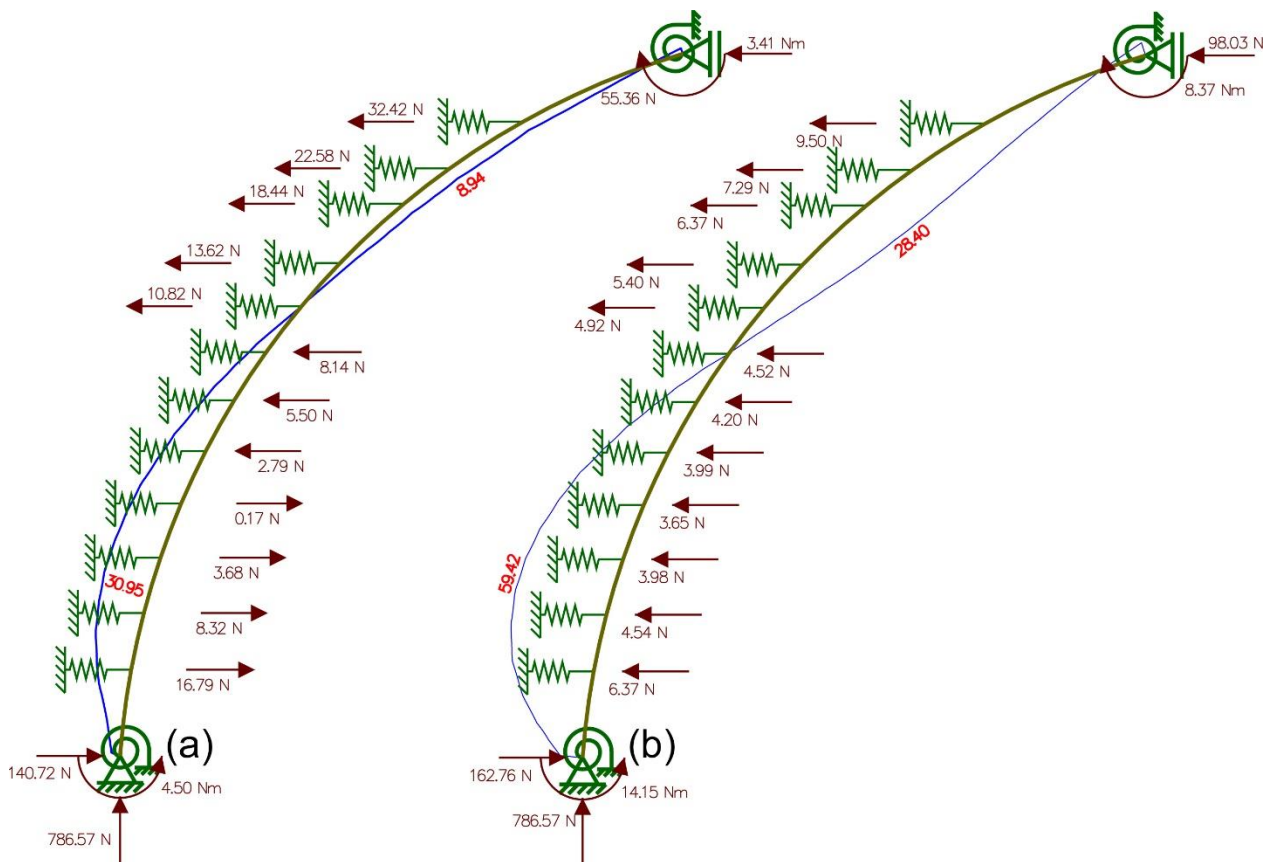


Figura 41 – (a) DEM do modelo 3 K^3 (b) DEM do modelo 3 $K^3/10$

O que se observa na figura 41 é mudança significativa da deformação influenciada pela rigidez das molas. A figura (a) apresenta um comportamento mais próximo do esperado, com anéis de tração na parte inferior e anéis de compressão na parte superior. Essa linha deformada é imposta pela própria rigidez da estrutura secundária, visto que no modelo até então não havia deformação no sentido negativo de "X". O aumento da rigidez além desse ponto leva ao anulamento do diagrama de momentos fletores e a redução contínua da reação de apoio horizontal.

Por outro lado, a figura (b) mostra uma situação onde a estrutura secundária não tem rigidez para impor uma mudança drástica na linha deformada. Nesse caso, a estrutura secundária trabalha como anéis de compressão, estando as maiores contribuições próximas à base e ao ápice da edificação. Esses anéis de compressão provocam o aumento da reação de apoio horizontal e a redução do DMF no corpo da estrutura principal. A redução contínua da rigidez leva ao modelo 2.

O modelo 3 comporta-se de duas formas bem distintas dependendo da rigidez das molas que o compõem. Quando a rigidez é suficiente para impor deformações negativas em "X", ele apresenta anéis de tração inferiores, anéis de compressão superiores. Com o aumento da rigidez, há redução progressiva dos momentos no corpo e no apoio da estrutura, além de redução progressiva na reação de apoio horizontal.

Quando a rigidez não é suficiente, a estrutura trabalha inteira em anéis de compressão, quando há redução progressiva da rigidez observa-se a aproximação com o modelo 2, aumento progressivo dos momentos e redução da reação de apoio horizontal. Este comportamento parece mais verossímil, uma vez que a secção reduzida das taquaras seria acometida por fenômenos de instabilidade quando a compressão nos anéis ficasse muito elevada.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO

A partir do desenvolvimento e aperfeiçoamento dos modelos, com base na leitura e dedução dos textos consultados, foi possível apontar características singulares da estrutura da casa, que devem ser observadas para que haja uma compreensão inicial do problema pesquisado.

Posteriormente, com auxílio do *Ftool*, os modelos foram construídos e testados seguindo o mesmo raciocínio, para que fosse possível observar como os diversos elementos constituintes alterariam o comportamento da edificação como um todo.

De posse dessa análise, observa-se um claro “amortecimento” dos esforços atuantes sobre a edificação quando comparado ao modelo inicial mais simples, o que representa um comportamento positivo, uma vez que há a redução dos maiores momentos implicando a redução das peças da edificação. Isto geralmente se traduz em economia de meios, porém, no caso de análise, é mais provável que o maior ganho seja o aumento de segurança, o que pode ser entendido como um menor rigor na escolha dos galhos de árvore constituintes da estrutura.

Entretanto, não é possível assumir a análise acima como absolutamente verdadeira. O problema da habitação Xavante é demasiadamente complexo para ser analisado apenas por modelos bidimensionais. Além disso, devido à pouca informação disponível, os coeficientes de mola foram todos estimados por um método alheio as características singulares apresentadas por esta estrutura, provocando desvios como os encontrados no modelo 3, cujos coeficientes de mola são maiores que aqueles atribuídos ao solo, sendo este claramente mais rígido.

É bem verdade que os construtores não tinham conhecimento erudito para entender que a deformação da terra em volta dos galhos ajudava a casa a ficar em pé, e que as peças onde eram amarradas as palhas prestassem à edificação um auxílio em termos de redistribuir os momentos e reduzir os picos de esforços, mas é bem provável que tenham percebido essas coisas de forma empírica, com o passar das estações e consequente substituição das habitações.

Não foram encontradas na literatura de base técnica relacionadas a construção qualquer informação sobre a habitação que apresentamos. As informações são provenientes de estudos antropológicos e por esta razão torna-se difícil afirmar se havia por parte dos construtores da casa Xavante a preocupação estrutural com o uso

das taquaras rachadas ou com a compactação da terra em volta dos troncos. Mas certamente, como em toda arquitetura vernácula elas estavam presentes, sem contudo serem traduzidas nos moldes de pensamentos habitual no campo da engenharia. O mundo empírico é o da tentativa e erro, e, portanto, de compreensão do desempenho dos objetos que lhe são próprios.

Constatar os limites de meus modelos explicativos é importante, pois me coloca numa posição crítica e inspira a continuidade futura deste trabalho. Entre estas possibilidades é possível arrolar algumas, entre as quais destaco a necessidade de conhecer em lócus a construção da casa xavante, não com o olhar do antropólogo, mas do engenheiro, atento à natureza dos materiais, do comportamento estrutural das construções e de suas técnicas construtivas. Outra questão que parece promissora é a análise individual da haste, considerando-a como um elemento livre, sabendo que a flecha máxima no topo é igual a R , é possível descrever a equação da linha deformada assumida pela vara imediatamente antes de ser amarrada ao “pau muito mais grosso”. Dessa forma, teríamos a forma exata da edificação, e não seria necessário aproximá-la por um setor circular. Perante a falta de informação específica, também como uma perspectiva de continuidade do trabalho, poder-se-ia testar uma gama maior de situações, propondo diferentes valores para as dimensões e coeficientes desconhecidos. Finalmente, casa Xavante ocupa um volume, e as interações entre os vários arcos é de difícil abstração à partir de modelos bidimensionais. Seria de grande auxílio ao entendimento do sistema construtivo uma análise tridimensional via a adoção de uma estrutura em grelha espacial, casca, etc.

Portanto, o que se enumerou como possibilidades de prosseguir este estudo da habitação Xavante assinala que este trabalho é um início e não o fim da pesquisa proposta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CUNHA, Renato P. **Apostila de Fundações**: Graduação. Brasília: Universidade de Brasília.
- ENGEL, Heino. **Sistemas estruturais**. Barcelona: Editora Gustavo Gill, 2001;
- GIACCARIA, Barotolomeu; HEIDE, Adalberto. **Xavante**: povo autêntico: pesquisa histórica etnográfica. São Paulo: Editora Salesiana Dom Bosco, 1984;
- <http://www.novaera.serradoroncador.com.br/index.php?/Flora/flora.html>, visitado no dia 02/12/2014.
- LÉVY-STRAUSS, Claude. **Tristes trópicos**. São Paulo: Livraria Martins Fontes Editora, 1955.
- MAYBURY-LEWIS, David. **A sociedade Xavante**. Rio de Janeiro: Livraria Francisco Alves Editora, 1984.
- NOVAES, Sylvia Caiuby. **Habitações Indígenas**. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 1983.
- PFIEL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de madeira**. 6 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2003.
- Plantar Empreendimentos e Produtos Florestais Ltda e Montana Química S.A. **Tabela de cálculo para utilização em estruturas de AMARU PERFILADOS**. Belo Horizonte, 2011. <file:///F:/Downloads/Tabelas%20de%20C%C3%A1lculo.pdf>, visitado no dia 02/12/2014.
- PORTOCARRERO, José Afonso Botura. **Tecnologia indígena em Mato Grosso**: habitação. Cuiabá: Entrelinhas, 2010.
- RAPOPORT, Amos. **House Form and Culture**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall Inc., 1969;
- ROMERO GESUALDO, Francisco A. **Estruturas de madeira**: Notas de Aula. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2003.
- SILVA, Elvan. **Matéria, idéia e forma**: Uma definição de arquitetura. 1 ed. Porto Alegre: Editora Universidade/UFRGS, 1994.
- SÜSSEKIND, José Carlos. **Curso de análise estrutural**. Vol 1 e 2. Rio de Janeiro: Editora Globo S.A., 1974.
- WEIMER, Günter. **Arquitetura popular brasileira**. 1 ed. São Paulo: Livraria Martins Fontes Editora, 2005.

Apêndice 1

UnB - Teoria das Estruturas 1

Prof. Lineu Pedroso

Monitor: Pedro Paulo Fonsêca dos Santos

Calcular o deslocamento vertical na rótula "C" (δ_V^C) do arco da figura devido a ações do peso próprio.

Dados:

- $R = 1,75 \text{ m}$
- $\gamma = 1900 \text{ kgf}/\text{m}^3$
- $h = 0,2$
- $E = 8 \text{ MPa}$

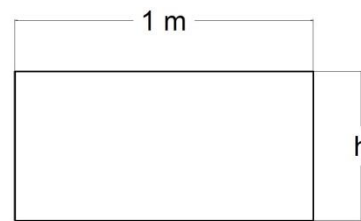


Figura 1 - Secção transversal do arco

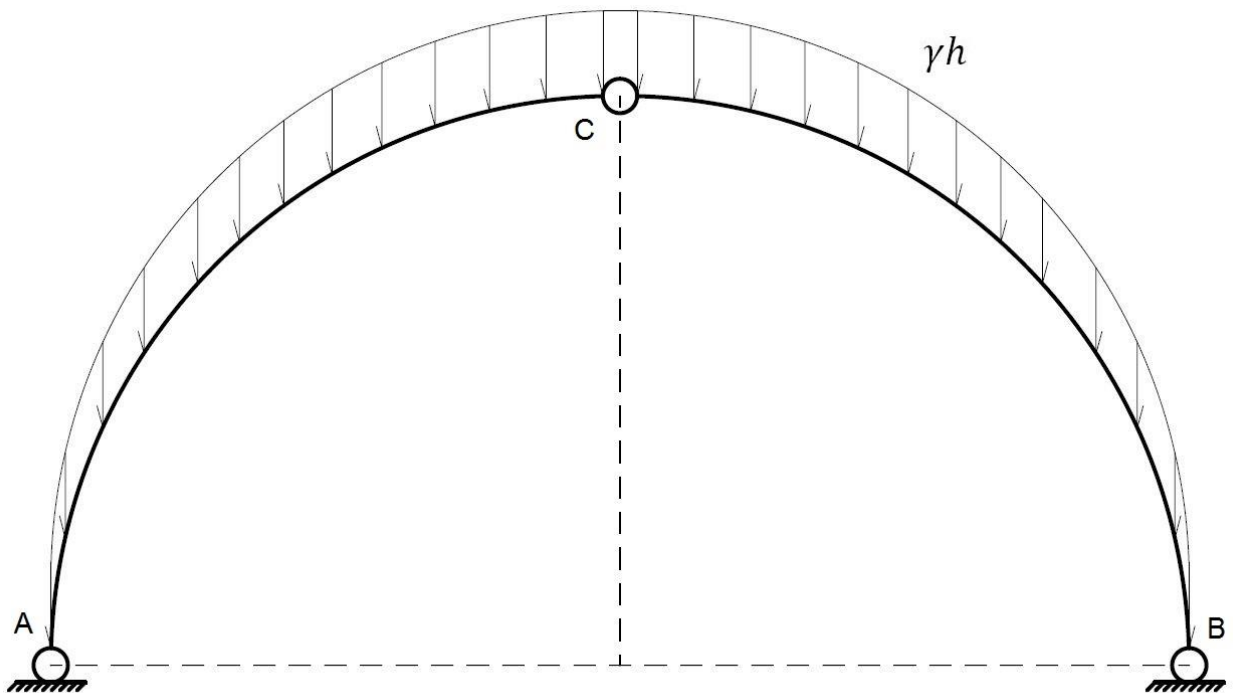


Figura 2 – Sistema principal (peso próprio)

Primeiramente, acharemos as reações de apoio no arco. A reação de apoio vertical é bem simples de ser encontrada, considerando que o arco é simétrico em relação ao ponto "C". Logo:

$$V_a = V_b = \gamma h R \pi / 2$$

Para calcular a reação horizontal dos apoios precisamos dividir a estrutura na rótula “C” e assumir que o momento em “C” é igual a 0, o que é razoável considerando que o ponto “C” é uma rótula.

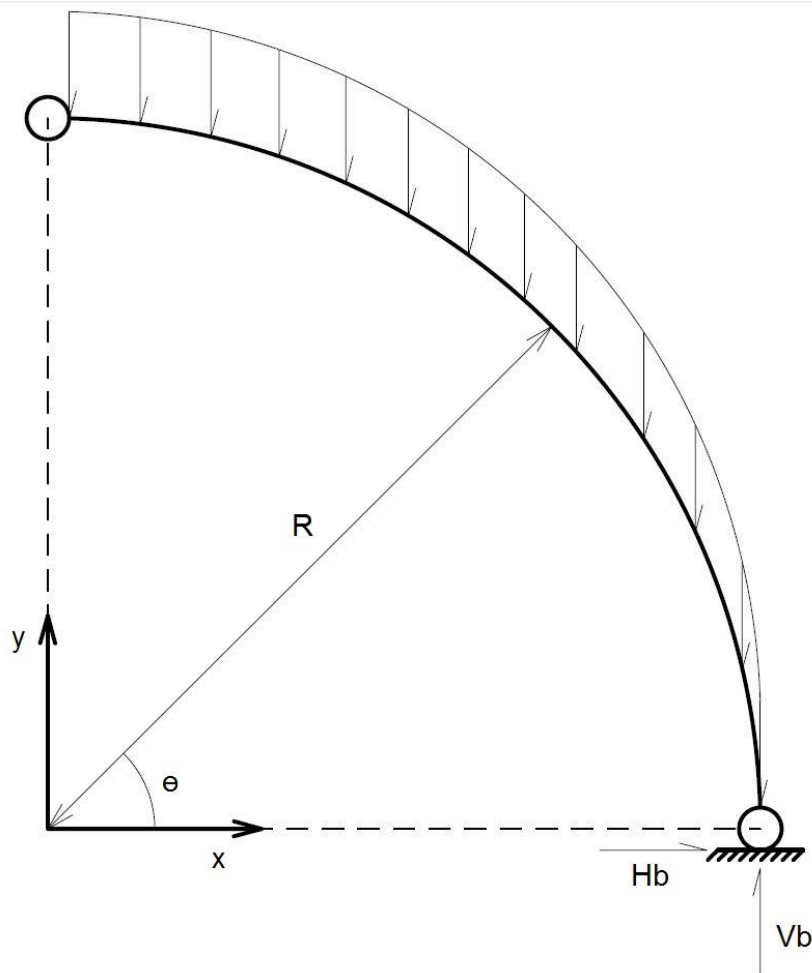


Figura 3 – Metade do arco (peso próprio)

$$\sum M_z^C = 0$$

$$M = V_b \cdot R + H_b \cdot R - \gamma h R \pi / 2 \cdot x_{cm}$$

Para resolver a equação é necessário sabermos onde é o centro de massa de um arco. Vamos então descobrir esse valor.

$$r_{cm} = 1/m \cdot \int_V r \cdot dm$$

Onde, “ r ” é o vetor posição de cara volume infinitesimal e “ m ” é a massa. Podemos substituir “ dm ” por “ $\rho \cdot dV$ ”, sendo “ ρ ” a massa específica do material constituinte qualquer. Temos então:

$$r_{cm} = 1/m \cdot \int_V r \rho \cdot dV$$

Como nosso arco tem a secção transversal constante, temos que “ dV ” pode ser substituído por “ $A \cdot dx$ ” e “ dx ” em coordenadas polares é igual à “ $R \cdot d\theta$ ”. Podemos também escrever a massa, de forma genérica, como sendo “ $\rho AR\theta$ ”. Escrevemos então:

$$r_{cm} = 1/\rho AR\theta \cdot \int_{\theta} r \rho AR \cdot d\theta$$

$$r_{cm} = 1/\theta \cdot \int_{\theta} r \cdot d\theta$$

O vetor posição “ r ” das partículas pode ser escrito como “ $r = x i + y j$ ”, expresso em coordenadas polares como “ $r = R \cdot \cos(\theta) i + R \cdot \sin(\theta) j$ ”. Como a nossa força está na direção “ y ”, ela não produzirá momentos com braço de alavanca em “ y ”, podemos portanto ignorar a posição vertical do centro e massa e trabalhar somente com “ x ”.

$$x_{cm} = 1/\theta \cdot \int_{\theta} R \cos(\theta) \cdot d\theta$$

$$x_{cm} = R/\theta \cdot \int_{\theta} \cos(\theta) \cdot d\theta$$

$$x_{cm} = R/\theta \cdot \sin(\theta)$$

Voltando então para o cálculo de “ H_b ” temos:

$$M = V_b \cdot R + H_b \cdot R - \gamma h R \pi / 2 \cdot x_{cm}$$

$$0 = \gamma h R \pi / 2 \cdot R + H_b \cdot R - \gamma h R \pi / 2 \cdot R / \theta \operatorname{sen}(\theta)$$

Para nosso problema “ $\theta = \pi/2$ ”, logo:

$$0 = \gamma h R \pi / 2 \cdot R + H_b \cdot R - \gamma h R \pi / 2 \cdot 2R / \pi$$

$$H_b \cdot R = \gamma h R^2 - \gamma h R^2 \pi / 2$$

$$H_b = \gamma h R (1 - \pi/2)$$

Podemos então calcular a fórmula do momento fletor em qualquer ponto do arco:

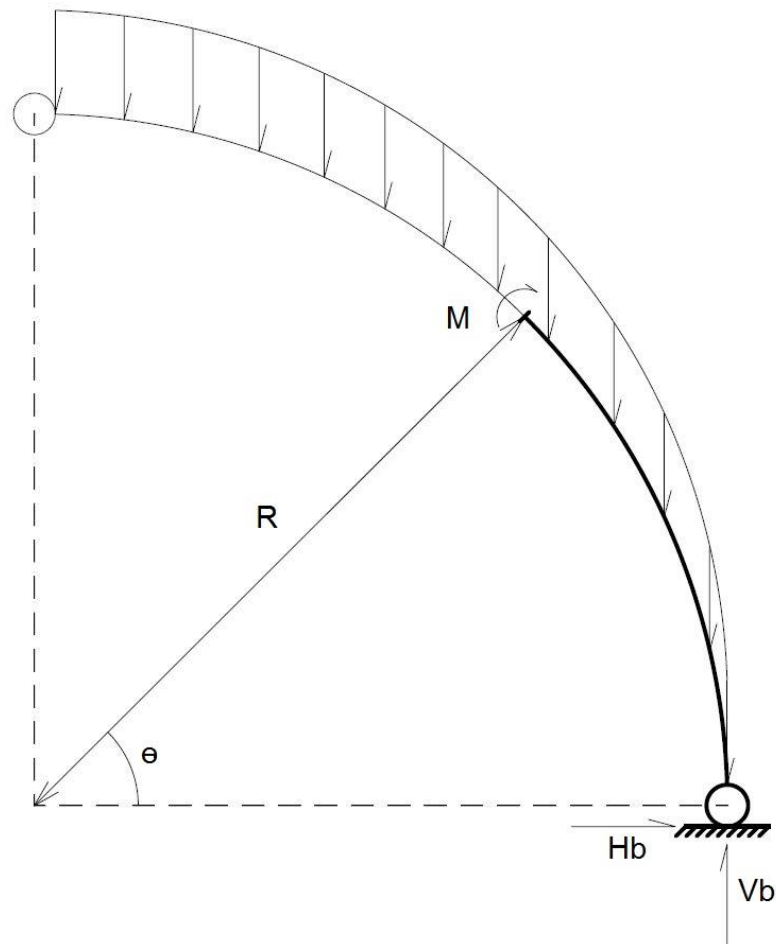


Figura 4 – Corte no arco para M (peso próprio)

$$M = V_b \cdot d_x + H_b \cdot d_y - \gamma h R \theta \cdot (x_{cm} - R \cos(\theta))$$

$$M = \gamma h R \frac{\pi}{2} \cdot R(1 - \cos(\theta)) + \gamma h R(1 - \frac{\pi}{2}) \cdot R \sin(\theta) - \gamma h R \theta \cdot (R/\theta \sin(\theta) - R \cos(\theta))$$

$$M = \gamma h R^2 \left(\frac{\pi}{2} + \cos(\theta) \left(\theta - \frac{\pi}{2} \right) - \frac{\pi}{2} \sin(\theta) \right)$$

A nível de confirmação do resultado, é importante observar que nosso momento fletor vale 0 em “ $\theta = 0$ ” e “ $\theta = \pi/2$ ”, exatamente como deveria ser, já que há rótulas nesses dois pontos.

Seguindo o mesmo procedimento para o esforço normal, temos:

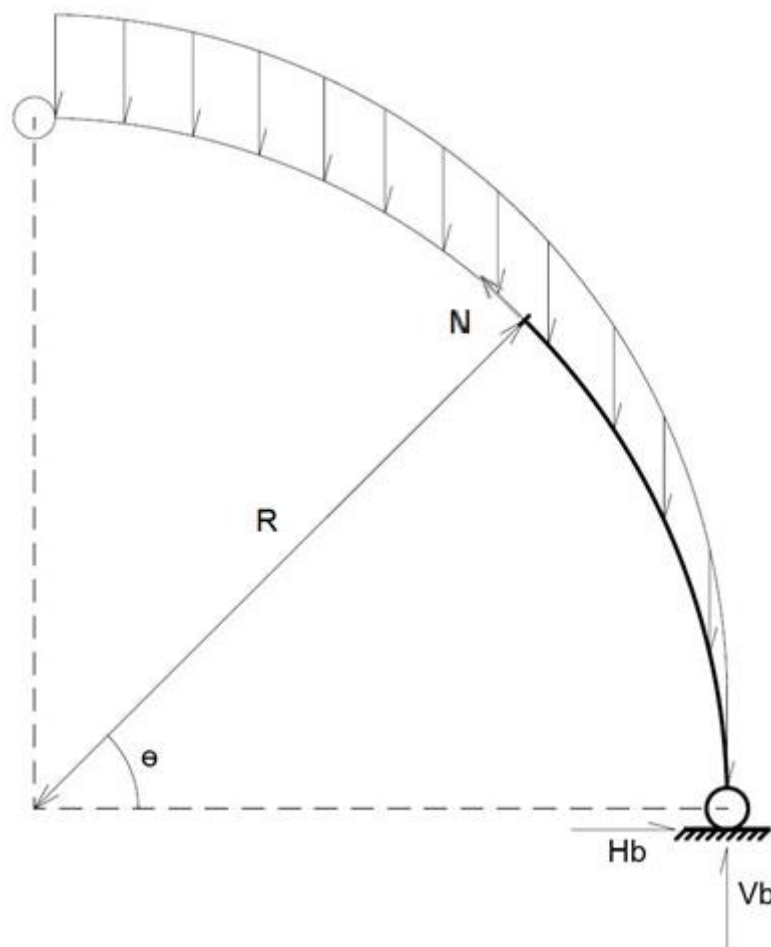


Figura 5 – Corte no arco para N (peso próprio)

$$N = -V_b \cdot \cos(\theta) + H_b \cdot \sin(\theta) + \gamma h R \theta \cdot \cos(\theta)$$

$$N = \gamma h R \cdot \left(\theta - \frac{\pi}{2} \right) \cdot \cos(\theta) + \gamma h R \cdot \left(1 - \frac{\pi}{2} \right) \cdot \sin(\theta)$$

Segundo Süsserkind, o esforço cortante pode ser desprezado para fim de cálculo de esforços e deslocamento do arco.

Agora que temos todas as informações do nosso sistema principal, precisamos resolver o sistema secundário. Como queremos o deslocamento vertical em “C”, aplicaremos uma força no ponto “C”, direção vertical e sentido para baixo (o sentido é livre, eu coloquei para baixo porque suponho que o descolamento seja para baixo). Vamos resolver então.

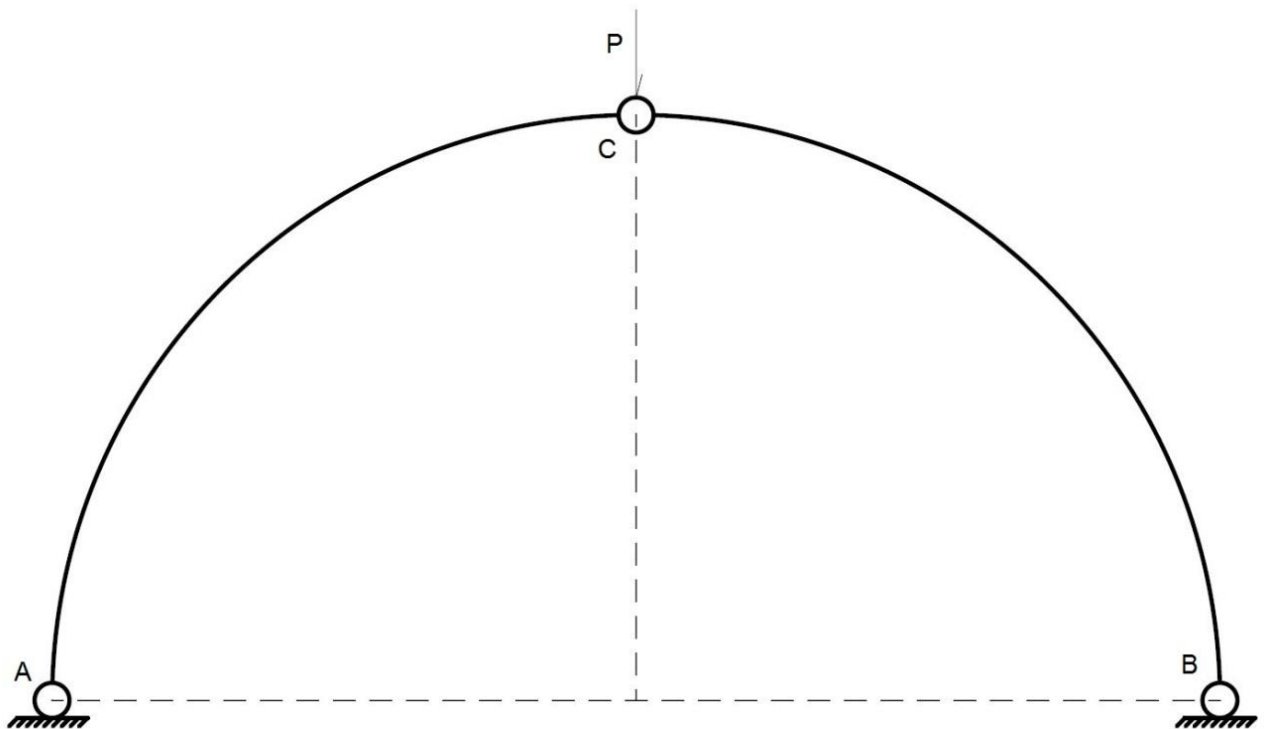


Figura 6 – Sistema secundário (carga concentrada)

Novamente, podemos encontrar as reações verticais do problema de forma rápida, sabendo que o arco é simétrico. Temos portanto:

$$V_a = V_b = P/2$$

As reações horizontais serão encontradas da mesma forma que no sistema principal. Temos portanto:

$$\sum M_z^c = 0$$

$$P/2 \cdot R + H_b \cdot R = 0$$

$$H_b = -P/2$$

Agora para encontrar a equação do momento fletor temos:

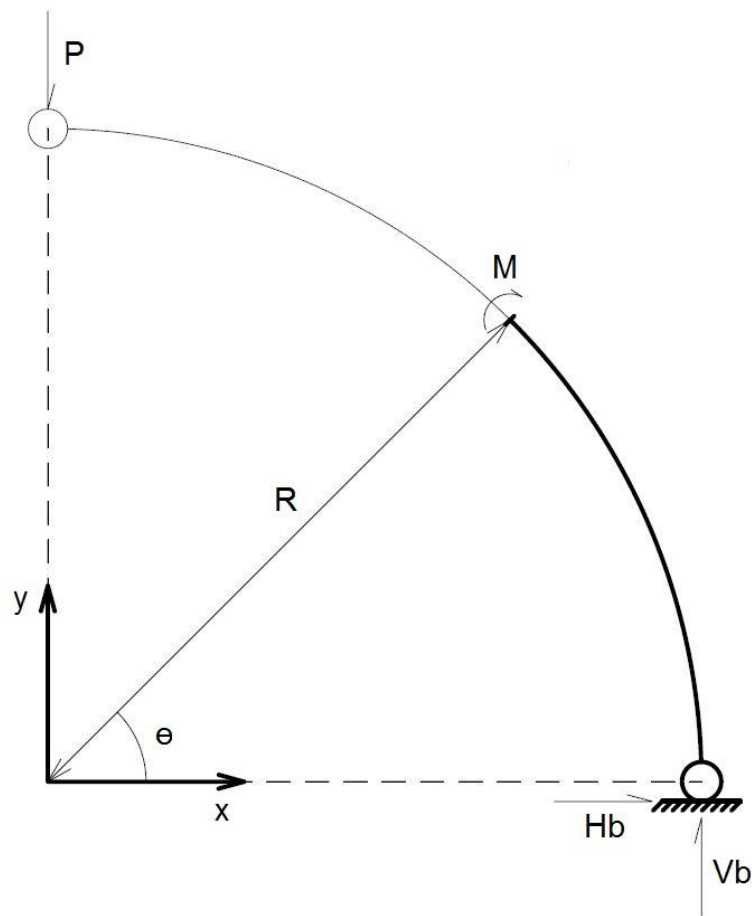


Figura 7 – Corte no arco para M (carga concentrada)

$$\bar{M} = V_b \cdot d_x + H_b \cdot d_y$$

$$\bar{M} = P/2 \cdot R(1 - \cos(\theta)) + (-P/2) \cdot R \sin(\theta)$$

$$\bar{M} = PR/2 (1 - \cos(\theta) - \sin(\theta))$$

Seguindo o mesmo procedimento para os esforços normais, temos:

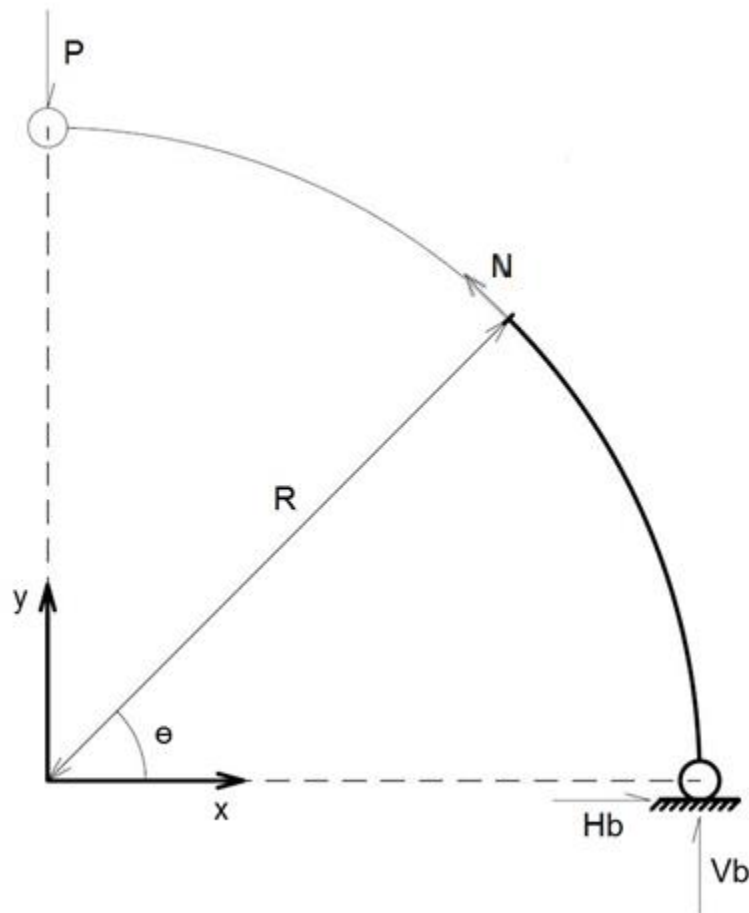


Figura 8 – Corte no arco para N (carga concentrada)

$$\bar{N} = -V_b \cdot \cos(\theta) + H_b \cdot \text{sen}(\theta)$$

$$\bar{N} = -\frac{P}{2} \cdot \cos(\theta) - \frac{P}{2} \cdot \text{sen}(\theta)$$

$$\bar{N} = -\frac{P}{2} \cdot (\cos(\theta) \cdot \text{sen}(\theta))$$

Tendo as duas equações de momentos e as duas de esforços normais podemos calcular o deslocamento pelo método dos trabalhos virtuais para corpos deformáveis. Temos então que:

$$P \cdot \delta = \int_l \frac{M\bar{M}}{EI} + \frac{N\bar{N}}{EA} dl$$

Vamos considerar “P” igual à 1, já que ele é arbitrário. Transformaremos também para coordenadas polares. É importante lembrar que estamos usando apenas metade da estruturas, e por isso aparecerá um “2” do lado direito da equação, esse número contabilizará as contribuições da outra metade da estrutura. Teremos então:

$$\delta = 2 \cdot \int_{\theta} \left\{ \frac{1}{EI} \cdot \left[\gamma h R^2 \left(\frac{\pi}{2} + \cos(\theta) \left(\theta - \frac{\pi}{2} \right) - \frac{\pi}{2} \text{sen}(\theta) \right) \right] \cdot \left[\frac{R}{2} (1 - \cos(\theta) - \text{sen}(\theta)) \right] \right\} \\ + \left\{ \frac{1}{EA} \cdot \left[\gamma h R \cdot \left(\theta - \frac{\pi}{2} \right) \cdot \cos(\theta) + \gamma h R \cdot \left(1 - \frac{\pi}{2} \right) \cdot \text{sen}(\theta) \right] \cdot \left[-\frac{P}{2} \cdot (\cos(\theta) \cdot \text{sen}(\theta)) \right] \right\} \cdot R d\theta$$

$$\delta = \left[\gamma h R^4 / EI \cdot \int_0^{\pi/2} \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \text{sen}^2(\theta) - \pi \text{sen}(\theta) + \pi \text{sen}(\theta) \cos(\theta) - \theta \text{sen}(\theta) \cos(\theta) \right. \right. \\ \left. \left. - \pi \cos(\theta) + \theta \cos(\theta) + \frac{\pi}{2} \cos^2(\theta) - \theta \cos^2(\theta) \right) \cdot d\theta \right] \\ + \left[\gamma h R^2 / EA \right. \\ \left. \cdot \int_0^{\pi/2} \left(\frac{\pi}{2} \cdot \text{sen}^2(\theta) - \text{sen}^2(\theta) + \pi \cdot \text{sen}(\theta) \cdot \cos(\theta) - \text{sen}(\theta) \cdot \cos(\theta) - \theta \right. \right. \\ \left. \left. \cdot \text{sen}(\theta) \cdot \cos(\theta) + \frac{\pi}{2} \cdot \cos^2(\theta) - \theta \cdot \cos^2(\theta) \right) \cdot d\theta \right]$$

$$\delta = \left[\gamma h R^4 / 16EI \cdot (7\pi^2 - 18\pi - 12) \right] + \left[\gamma h R^2 / 16EA \cdot (3\pi^2 + 2\pi - 4) \right]$$

Substituindo os dados temos:

$$\delta = \left[19000 \cdot 0,2 \cdot 1,75^4 / 16 \cdot 8 \cdot 10^6 \cdot 6,667 \cdot 10^{-4} \cdot (7\pi^2 - 18\pi - 12) \right] \\ + \left[19000 \cdot 0,2 \cdot 1,75^2 / 8 \cdot 8 \cdot 10^6 \cdot 0,2 \cdot (3\pi^2 + 2\pi - 4) \right]$$

$$\delta = 0,2394 \text{ m}$$