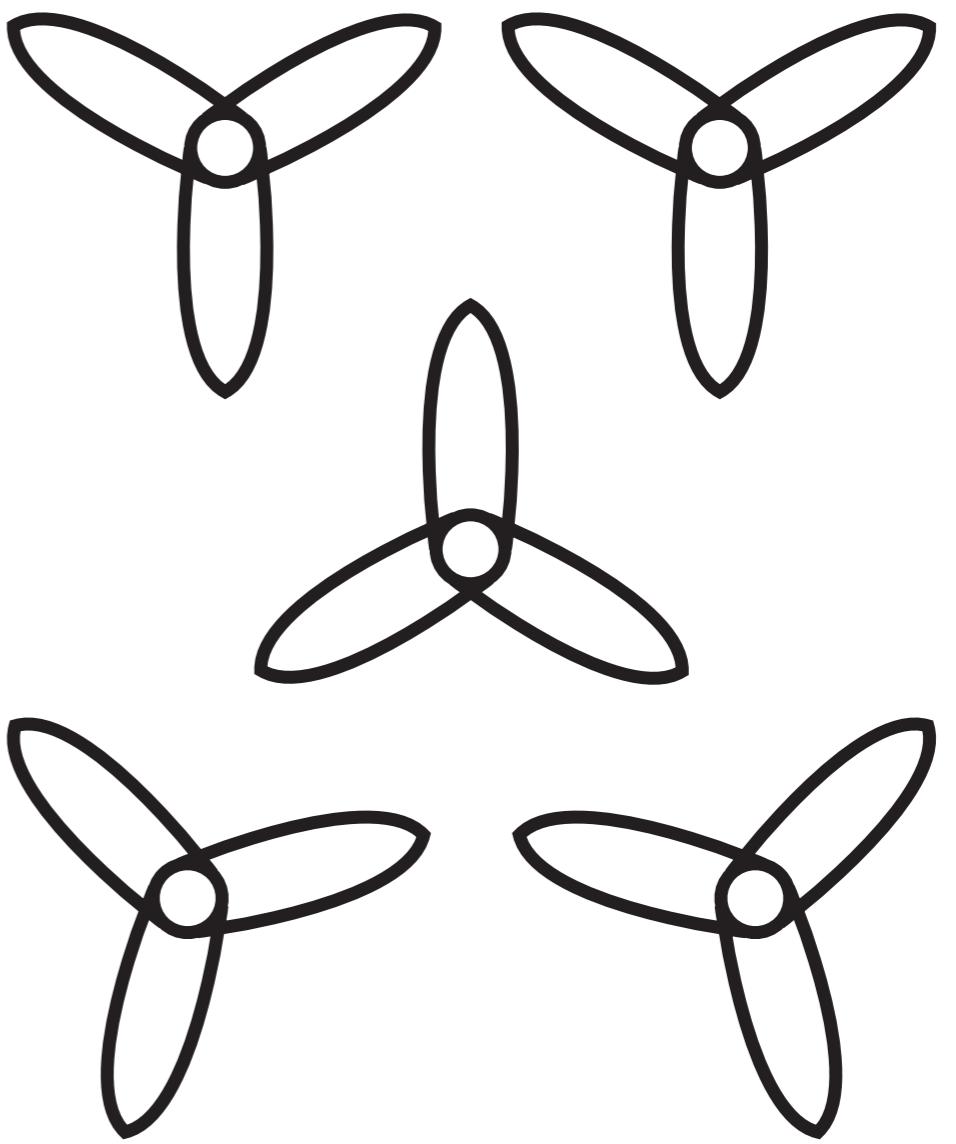


EXCELSA
ABRIGO BIOMIMÉTICO
TAÍS GALVÃO ROSA



EXCELSA

ABRIGO BIOMIMÉTICO

TAÍS GALVÃO ROSA

TFG FAUUSP 2019

ORIENTADOR: PROF. DR. GIORGIO GIORGI JR.

Para minha mãe.

Taís Galvão Rosa
n° USP 8961824

Universidade de São Paulo
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Trabalho final de graduação
São Paulo 2019

EXELSA: ABRIGO BIOMIMÉTICO

Banca examinadora

Orientador
Prof. Dr. Giorgio Giorgi Junior

Prof^a. Dr^a. Myrna de Arruda Nascimento

Prof^a. Dr^a. Cristiane Aun Bertoldi

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Giorgio, meu orientador, por sua dedicação e apoio durante este processo. Também agradeço a todos os professores que me guiaram durante a graduação.

Agradeço à minha mãe, Paula, por ser minha companheira em todos os momentos e por sempre me apoiar e amar. Sem ela, não seria nada do que sou.

Ao Lucas, meu namorado, por seu carinho nesse período tão difícil. Por fim, agradeço aos meus amigos, não só da FAU, pelos momentos de alegria, cumplicidade e apoio.

RESUMO

O presente trabalho é um estudo experimental no campo da biomimética. O objetivo foi analisar as formas de espécies naturais (vegetais e animais) para no final traduzir as características estudadas em um projeto.

Para isso, selecionei as espécies, as estudei por meio de desenhos de observação, reproduzi suas características com modelos artificiais e por fim, foi desenvolvido o projeto de um abrigo emergencial, de fácil montagem e reutilizável, traduzindo o que havia estudado de uma das espécies.

No projeto do abrigo, desenvolvi as peças, sua montagem, aproveitamento, planejei como seria o transporte e onde seria utilizado. Por fim, executei dois modelos finais em escala 1:10, para entender e explicar melhor o projeto.

Palavras chave: Biomimética; biônica; experimentação; projeto; design; abrigo emergencial.

ABSTRACT

The present work is an experimental study in the field of biomimicry. The goal was to analyze the forms of natural species (plants and animals) and then translate the studied characteristics in a project.

To do this, I selected the species, studied them through observation drawings, copied their characteristics with artificial models and finally, I developed the project of an emergency shelter, easy to assemble and reusable, translating what I had studied from one of the species.

In the shelter project, I developed the pieces, how to use and assemble them, planned how the transportation would be and where it would be used. Lastly, I made two final 1:10 scale models to better understand and explain the project.

Keywords: Biomimicry; bionics; experimentation; project; design; emergency shelter.

SUMÁRIO

01. INTRODUÇÃO.....	14
02. MÉTODO DE TRABALHO.....	18
03. ESTUDO DAS ESPÉCIES.....	22
04. INVESTIGAÇÃO MORFOLÓGICA.....	36
a) Análise de potencial.....	36
b) Modelos de reprodução.....	41
05. TRADUÇÃO EM PROJETO.....	62
a) Abrigo emergencial.....	62
b) Modelo final.....	73
c) Modelo final duplo.....	78
d) Especificações do abrigo.....	80
e) Montagem do abrigo.....	84
f) Transporte do abrigo.....	86
g) Instalação do abrigo.....	86
06. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90
07. BIBLIOGRAFIA.....	94



01

INTRODUÇÃO

01. INTRODUÇÃO

Ao longo de milhões de anos, a natureza molda suas espécies, formas e estruturas por meio da evolução, atingindo máxima eficiência e harmonia. Ao escolher o tema do meu trabalho final de graduação, aproveitei a oportunidade para aliar o estudo do mundo natural à arquitetura. Analisando estruturas naturais (vegetais e animais) e traçando paralelos com o mundo construído, busquei entender as estruturas e seus papéis, e como elas podem auxiliar em questões da arquitetura e design.

A biomimética

A biomimética, tema deste trabalho, é o estudo das estruturas de seres vivos e suas capacidades, para aplicação dessas soluções em diferentes áreas do conhecimento construído. A escolha, surge do interesse em utilizar a eficiência testada por milhões de anos de evolução a favor da arquitetura e do design. Foram muito os motivos que me levaram a escolher esse tema para o trabalho final de graduação.

A temática da biônica/biomimética esteve presente nos estudos científicos ao longo da história, iniciando-se com Leonardo da Vinci. Desde então, a natureza serviu de inspiração de diferentes maneiras, desde questões puramente formais e decorativas, como os motivos florais no art nouveau, até questões mecânicas e robóticas. Esse interesse recorrente me motiva a explorar esse campo.

Temos alguns exemplos amplamente conhecidos, como o velcro, inventado por George de Mestral, em 1948, inspirado no modo como a planta carrapicho se prende aos pelos dos animais, ou o trem bala, que em 1997 sofreu alterações de projeto para que sua frente se assemelhasse ao pássaro martim pescador, garantindo menor resistência do ar.

Na arquitetura, também existem exemplos de inspiração pela natureza. Gaudí, Frei Otto e Santiago Calatrava são alguns profissionais que buscaram soluções na vida natural para seus projetos. Frei Otto com estruturas inspiradas em árvores, Gaudí com temáticas florais e inspiração em esqueletos e Calatrava com formas que se assemelham a grandes animais.

Além disso, tenho interesse nesse tema por motivos pessoais. Minha mãe, bióloga, sempre me inspirou com seu conhecimento sobre a natureza e sua riqueza de possibilidades. Por estar sempre rodeada de plantas, aprendi a observá-las e estabelecer relações de semelhanças entre as espécies. Essa vivência pessoal, foi de grande importância na escolha do tema do trabalho.

Por fim, dentro do curso de arquitetura, durante a disciplina de Design do objeto (AUP 0446), no exercício final, estudamos espécies de nossa escolha individual e depois desenvolvemos, em grupo, produtos a partir de correlações entre as espécies. Escolhi o quiabo (*Abelmoschus esculentus*) e para o projeto final, meu grupo projetou um brinquedo, seguindo a forma pentagonal da seção transversal do quiabo, com encaixes e bolinhas que se movimentavam entre as lojas.

Essa experiência, inspirou meu olhar para o modo de projetar a partir da natureza, tendo influenciado na escolha do tema, e do professor orientador, o Prof. Dr. Giorgio Giorgi, docente da disciplina e meu orientador durante esse trabalho.

Ficam evidentes os muitos motivos que me aproximaram a esse tema e me levaram a escolhê-lo para explorar no trabalho final de graduação. Tenho como objetivo, neste trabalho, desenvolver um projeto dentro do campo da arquitetura, com soluções vindas do mundo natural.



02

MÉTODO

DE TRABALHO

02. MÉTODO DE TRABALHO

Por ser um trabalho experimental, foi importante organizá-lo em etapas para entender melhor como deveria ser o desenvolvimento do estudo. O trabalho se divide em três etapas: Estudo das espécies; Investigação morfológica e tradução em projeto.

A primeira etapa, estudo das espécies, inicia-se com a escolha dos exemplares e a análise das formas escolhidas. Para isto, foram feitos desenhos de observação de cada uma das espécies, com foco maior em detalhes que me chamaram atenção por possuírem características potenciais para um projeto final.

Em seguida, na segunda etapa, de investigação morfológica, iniciei o estudo com a execução de fichas de análise de potencial das espécies, onde condensei as características observadas na etapa anterior, para assim dar início aos modelos de reprodução. Utilizei nos modelos, materiais simples, para entender o funcionamento das formas que me chamaram mais atenção.

Também nesta etapa, esbocei possíveis projetos finais a partir de cada espécie. Baseei esses projetos nas observações feitas nas etapas de estudo e reprodução. Foi interessante pensar estes projetos, pois possibilitou especificar quais formas seriam mais importantes para reproduzir e analisar.

Após isso, tendo como base os resultados mais interessantes da etapa anterior, iniciei a última parte do trabalho, a tradução em projeto. Partindo das ideias de projetos obtidas na etapa anterior, selecionei a que havia avançado mais, e desenvolvi o projeto final, um abrigo emergencial. A partir deste ponto, defini detalhes de construção, estrutura, materiais, disposição e instalação do projeto.

Nos capítulos seguintes, explicarei com mais detalhes cada etapa do trabalho e seus resultados.

ESTUDO
DAS ESPÉCIES



INVESTIGAÇÃO
MORFOLÓGICA



TRADUÇÃO
EM PROJETO



03

ESTUDO
DAS ESPÉCIES

03. ESTUDO DAS ESPÉCIES

Para iniciar o recorte de trabalho, selecionei espécies naturais, vegetais e animais, e a partir de desenhos de observação, inspirados em desenhos botânicos, analisei essas estruturas e seus potenciais. Como critério de escolha, selecionei espécies que já me chamavam atenção no cotidiano por algum motivo. Escolhi ao todo dez exemplares, oito vegetais e dois animais.

Ao escolher as espécies, defini alguns padrões de preferência. Optei por estruturas mais robustas, plantas com folhas modificadas, com armazenamento de água e flores com modo de abertura diferentes. Outro fator, foi o movimento. Selecionei espécies com estruturas que possuem rigidez aliada à possibilidade de movimento.

Escolhi a planta trapoeraba roxa (*Tradescantia pallida purpurea*), por sua estrutura robusta e sua forma de fixação das folhas. A planta é uma monocotiledônea (grupo de plantas angiospermas), possuindo nervuras paralelas nas folhas e flores trímeras.

A segunda espécie escolhida foi a pata-de-vaca (*Bauhinia forficata*). Escolhi especificamente sua folha, por possuir formato inusitado, como o da pegada deixada por uma vaca, e sua vagem (fruto), por entortar ao perder água, formando uma espiral.

Selecionei duas suculentas, a golfinho e a crassula, pois possuem armazenamento de água nas folhas, o que estrutura a planta. Além disso, as duas têm formatos diferentes nas folhas, e diferentes formas de fixação das folhas no caule.

Em seguida escolhi a flor da moreia (*Dites bicolor*), por possuir uma forma interessante de abertura. As pétalas são enroladas quando fechadas, e se desenrolam para o lado de fora quando a flor se abre. A planta carqueja (*Baccharis trimera*), foi escolhida por possuir as folhas dispostas de forma achatada e espiralada ao longo do caule.

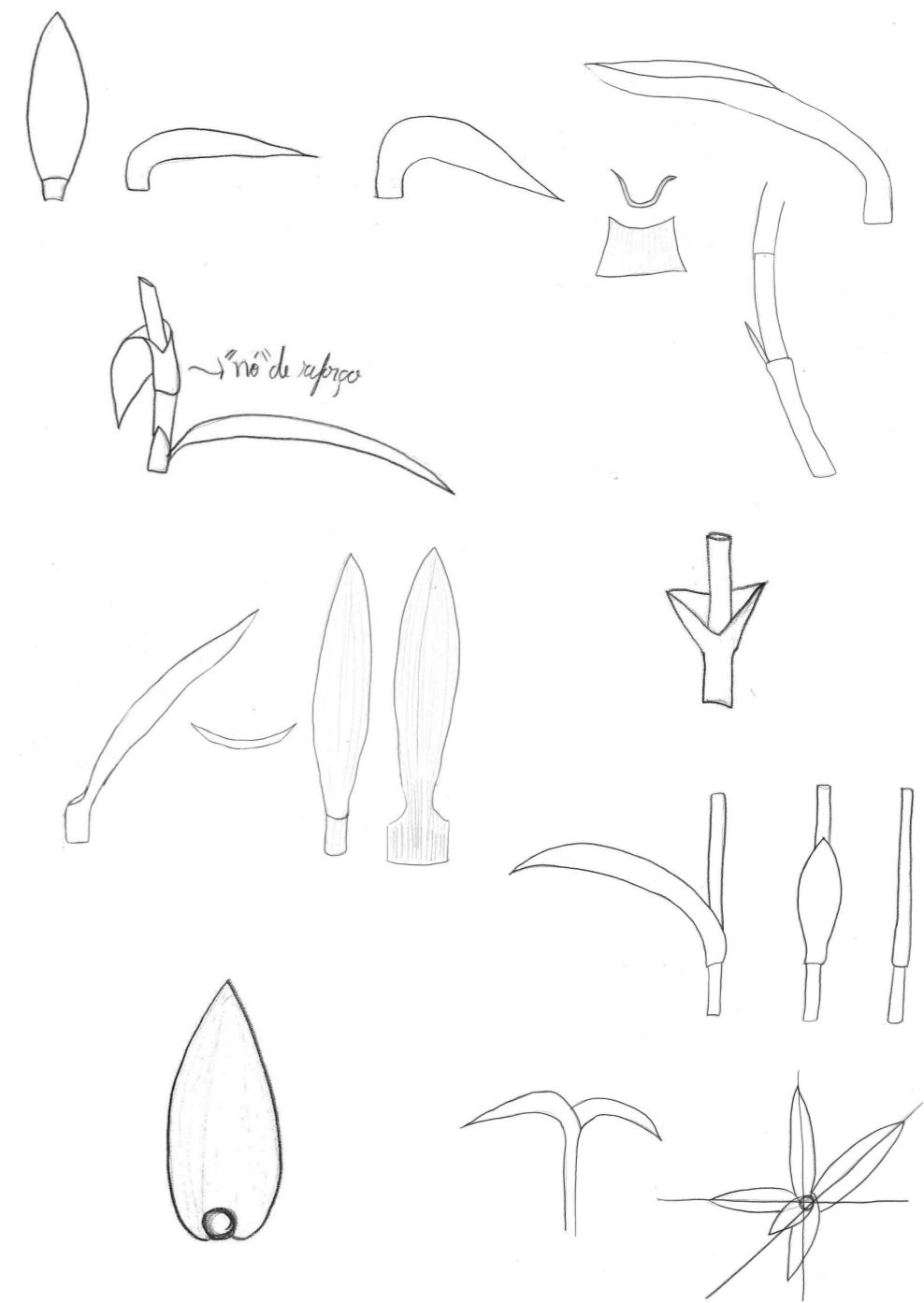
Outra espécie estudada, foi a ave do paraíso (*Strelitzia reginae*), escolhida por sua forma robusta, além da forma de fixação das folhas modificadas em sua estrutura. A escolha dessa planta se relaciona com a da trapoeraba, por possuírem semelhanças estruturais. Ambas são monocotiledôneas e possuem formas densas.

O dois animais, lagostim (*Astacidea Latreille*) e o esqueleto da jiboia argentina (*Boa constrictor occidentalis*) foram selecionados por possuírem rigidez e possibilidade de movimento. De maneira semelhante, os dois possuem uma estrutura rígida (exoesqueleto de quitina e ossos respectivamente), mas que prevê maleabilidade e movimentos.

A última espécie escolhida foi um vegetal, as folhas da araucária excelsa (*Araucaria heterophylla*), por possuir a maleabilidade encontrada nas duas espécies animais, aliada à estrutura de encaixe. Dessa forma, foi estabelecida uma relação entre as espécies animais e vegetais estudadas.

A seguir, são apresentados os desenhos de análise de cada espécie.

trapoeraba roxa
Tradescantia pallida purpurea



pata-de-vaca

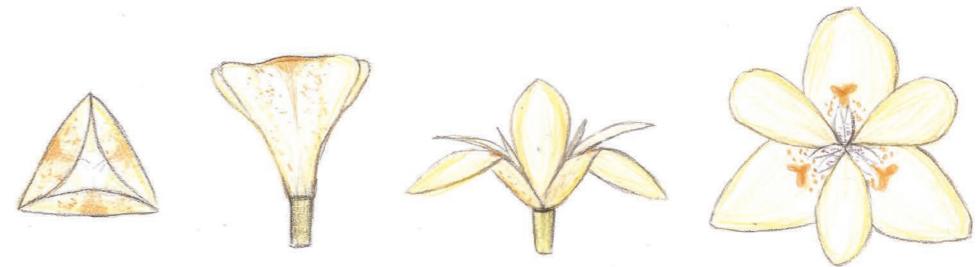
Bauhinia forficata (folhas e vagem)



28

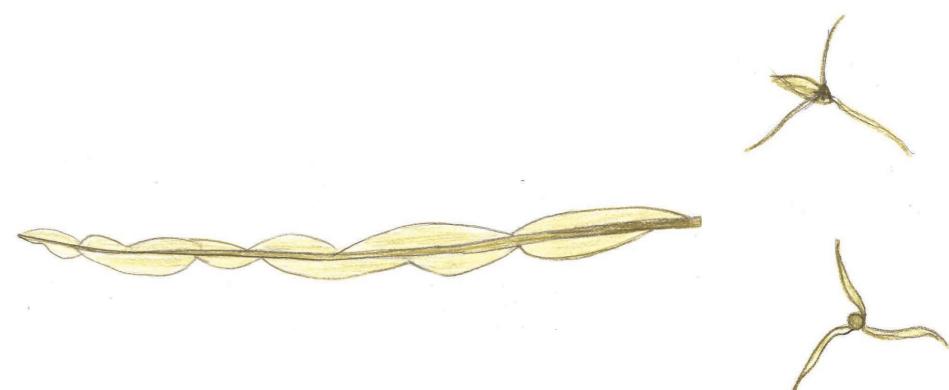
moreia

Dites bicolor (flores)



carqueja

Baccharis trimera (folhas)



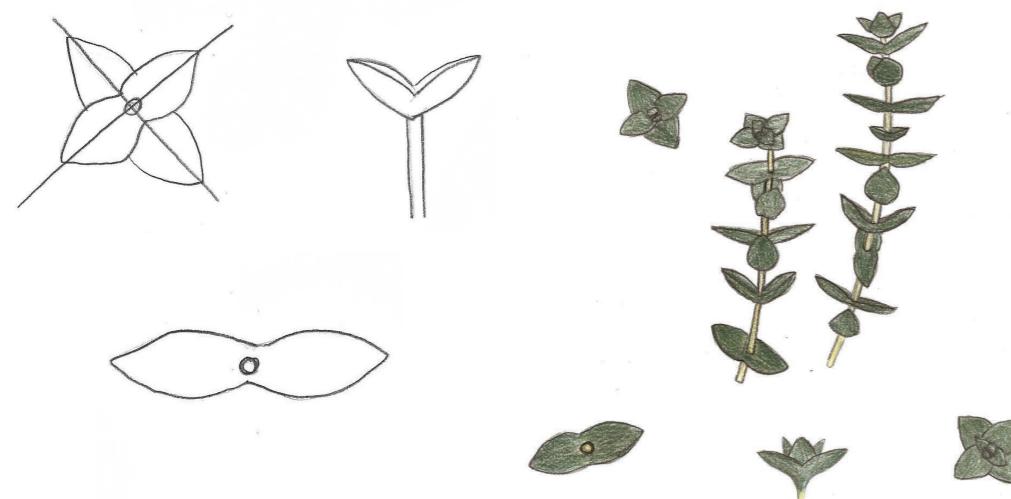
29

ave do paraíso
Strelitzia reginae



suculenta crassula

Crassula perforata



suculenta golfinho

Senecio peregrinus



araucária excelsa

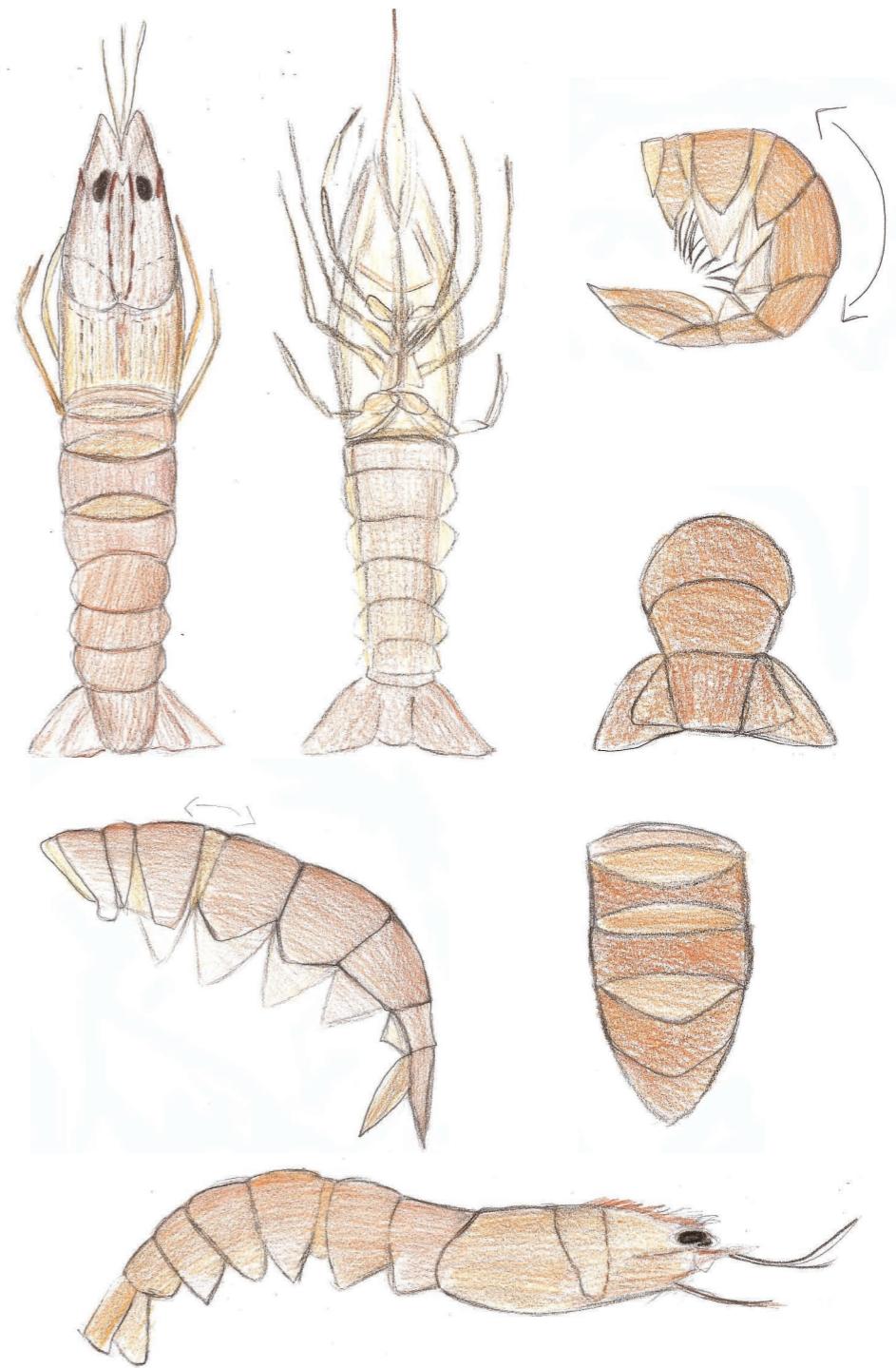
Araucaria heterophylla (folhas)



jiboia argentina
Boa constrictor occidentalis (esqueleto)



lagostim
Astacidea Latreille





04

INVESTIGAÇÃO
MORFOLÓGICA

04. INVESTIGAÇÃO MORFOLOGICA

Após o estudo inicial das 10 espécies na etapa anterior, optei por avançar os estudos somente daquelas em que identifiquei maior potencial dentro do tempo do desenvolvimento do trabalho.

Selecionei assim 4 delas, o lagostim, a jiboia, a trapoeraba roxa e a araucária excelsa. Com essa escolha, especifiquei mais o recorte e aprofundei os estudos das formas.

As demais espécies, embora possuam características interessantes, não avançaram para esta etapa, devido ao limite de tempo. Priorizei quatro das espécies, a fim de detalhar mais os estudos.

a) Análise de potencial

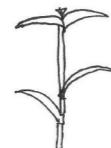
Iniciei essa etapa, executando fichas de análise de potencial de cada uma das quatro espécies elencando as principais características identificadas na etapa anterior, e as possibilidades de cada uma.

Para isso, dividi as fichas em cinco partes: características gerais, o que poderia ser, como seria, materiais e possíveis problemas. Dessa forma, pontuando o que mais me chama atenção em cada uma das espécies, possíveis projetos a partir de cada uma, de que forma seriam feitos esses projetos, com quais materiais e quais problemas pensava que poderia ter na execução.

Em todas as fichas, listei características formais das espécies, pertinentes ao recorte de estudo que estabeleci, com foco na forma das folhas, encaixes das folhas no caule (nas espécies vegetais) e na estrutura rígida aliada à maleabilidade do corpo (nas espécies animais).

Por meio deste processo, foi possível organizar os próximos passos do trabalho, guiando a execução dos modelos de reprodução. A seguir, são apresentadas as fichas de análise de potencial.

trapoeraba roxa *Tradescantia pallida purpurea*



- Monocotiledônea
 - Nervuras paralelas
 - Flores trímeras
- Coloração roxa
- Folha sem bainha (encaixa-se no caule)
- Folha "removível"
- Folha grande
- Folhas posicionadas em diferentes ângulos no eixo
 - Compensam o peso
 - Melhoram a exposição ao sol
- O que poderia ser?
 - Abrigo provisório
 - Cobertura para chuva e sol
- Como seria?
 - Material leve
 - Fácil transporte
 - Fácil instalação
 - Possível fixação em diferentes posições
 - Aplicado em estruturas já existentes (postes)
- Materiais
 - Nylon
 - Estrutura metálica
 - Tecido impermeável
 - Velcro
 - Pinos
- Possíveis problemas
 - Peso do balanço
 - Leveza x vento
 - Passagem de luz



araucária excelsa

Araucaria heterophylla (folhas)



- Gimnosperma
- Folhas organizadas ao longo de eixo (em feixes nos ramos)
- Folha aciculada
- Estrutura longa e modular (corrente)
- Folhas implantadas em diferentes ângulos ao longo do eixo
- Organizadas em trios
- O que poderia ser?
 - Abrigo emergencial
 - Mobiliário

- Materiais
 - PVC
 - Plástico
 - Tecido impermeável
 - Velcro
 - Estrutura metálica
- Possíveis problemas
 - Peso
 - Transporte
 - Leveza x vento
 - Resistência
 - Ventilação
 - Iluminação

- Como seria?
 - Material leve
 - Fácil transporte
 - Baixo custo
 - Encaixável
 - Fácil montagem

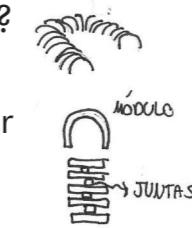
jiboia argentina

Boa constrictor occidentalis (esqueleto)



- Vertebrada
- Esqueleto móvel
- Costelas em forma de anel

- O que poderia ser?
 - Mobiliário
 - Banco modular
 - Cobertura
 - Caminho
 - Abrigo emergencial



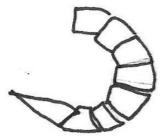
- Como seria?
 - Material leve
 - Fácil transporte
 - Baixo custo
 - Encaixável
 - Fácil montagem

- Materiais
 - Madeira
 - Metal
 - Plástico

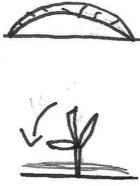
- Possíveis problemas
 - Junta frágil
 - Como unir as peças e manter a maleabilidade?

lagostim

Astacidea Latreille



- Artrópode crustáceo
- Exoesqueleto articulado de quitina
- Resistente
- Organização em módulos
 - Sistema de repetição
 - Crescimento
- O que poderia ser?
 - Abrigo provisório
 - Cobertura provisória dobrável
 - Mobiliário urbano dobrável
- Como seria?
 - Material plástico
 - Resistente
 - Leve
 - Dobrável



b) Modelos de reprodução

Para os modelos de reprodução, utilizei materiais simples, trabalhados manualmente, que possuíssem características similares ao das espécies selecionadas a fim de entender o funcionamento das estruturas.

Fiz vários modelos de cada espécie, observando as características que funcionavam e outras a serem aperfeiçoadas na reprodução das características das espécies naturais.

A cada etapa, aprimorei a reprodução das espécies, tentando também sintetizar os modelos. Dessa forma, reproduzindo a funcionamento das formas naturais, com o menor número de materiais.

Procurei também, na execução dos modelos, prestar atenção especial às junções das peças, uma vez que esta tecnologia é extremamente eficiente nas espécies naturais e por isso seria desafiadora a sua reprodução.

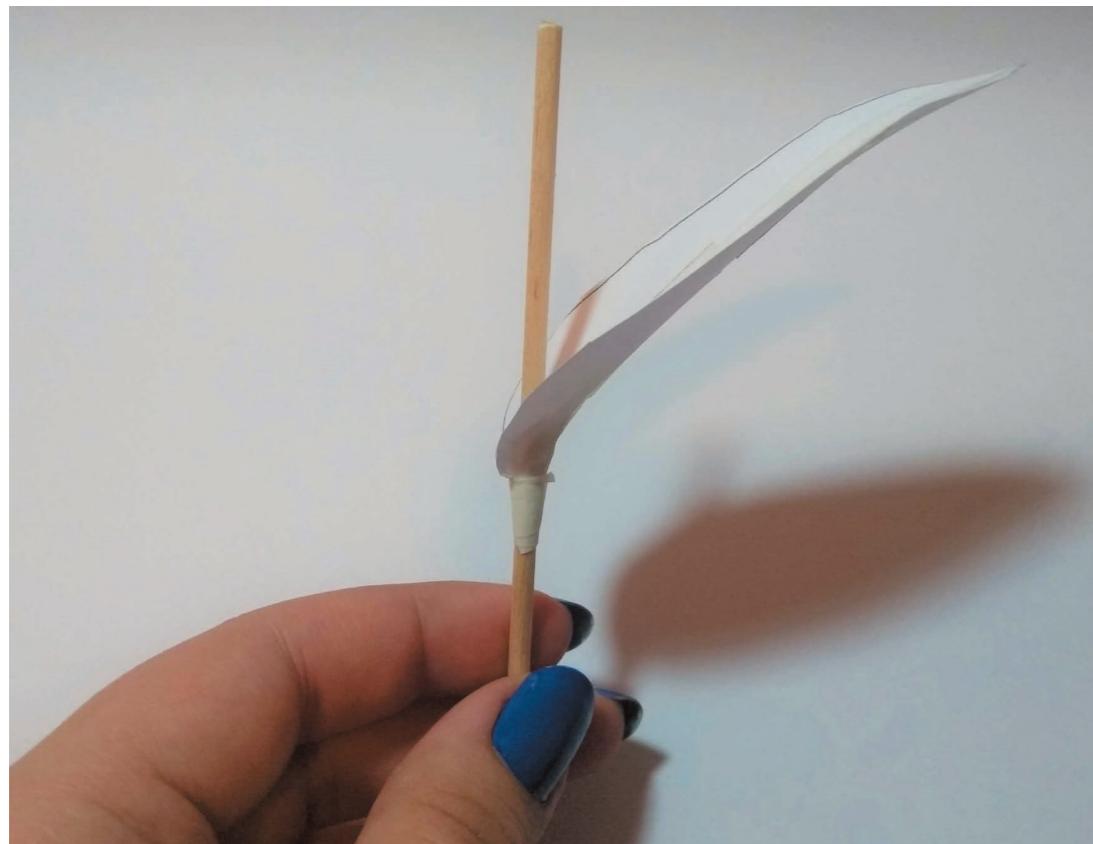
A seguir são apresentados os detalhamentos dos modelos de reprodução de cada uma das quatro espécies.

trapoeraba roxa

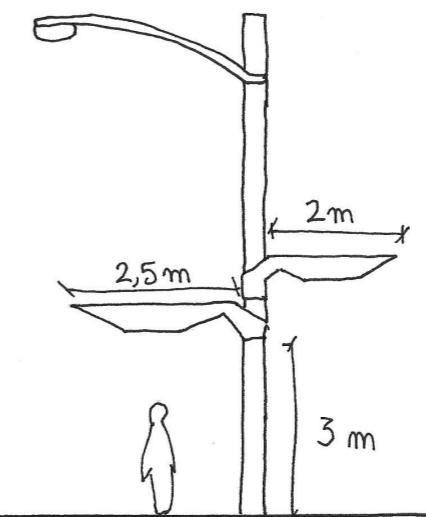
Tradescantia pallida purpurea

Na análise da trapoeraba, o que se destacou foi o modo de fixação da folha no caule e a forma como as folhas emergem do eixo central. A folha abraça o caule, em regiões que possuem um reforço estrutural (área mais espessa), sendo facilmente removidas, sem danificar a estrutura principal. As folhas são direcionadas para todos os lados, variando de posição para que todas recebam a luz do sol e equilibrem o peso da planta.

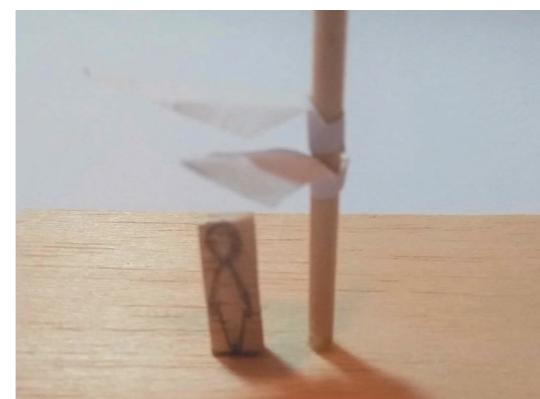
Para a reprodução das folhas, utilizei materiais simples, como papel kraft e arame. Após algumas tentativas, o modo de reprodução que se mostrou mais eficiente foi dividir a peça em duas partes e unir as duas criando assim a tridimensionalidade da forma.



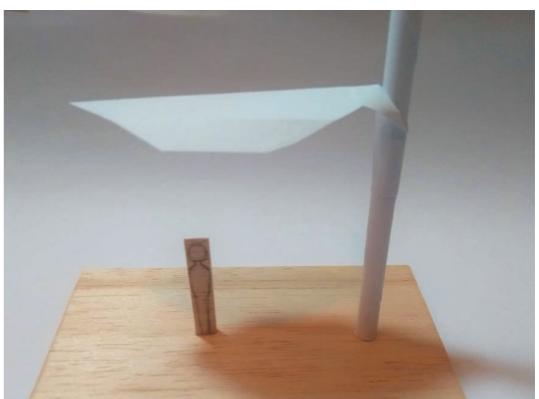
Reprodução da folha em sulfite.



Estudo de cobertura a partir da trapoeraba.



Estudo de cobertura a partir da trapoeraba.



Estudo de cobertura a partir da trapoeraba.



Reprodução da folha em papel kraft.

Utilizando a planificação da folha, separando-a do caule, fiz versões em papel sulfite e kraft, unindo novamente em um caule artificial, de madeira, com fita crepe ou cola.

Como possíveis projetos, pensei em estruturas de cobertura portáteis, a partir das folhas. Para os materiais, tecidos impermeáveis ou plásticos com estrutura metálica.

jiboia argentina

Boa constrictor occidentalis (esqueleto)



Modelo com espiral como coluna vertebral.



Modelo com elástico e peças em porcelana fria.

Por isso, fiz um segundo modelo, desta vez somente da coluna vertebral, utilizando um elástico como o tecido mole e peças moldadas de porcelana fria para representar os anéis. As peças foram moldadas para encaixarem uma na outra, permitindo que se movimentem ao redor do eixo do elástico.



Modelo em arame.



Modelo em arame com papel kraft.

Na análise do esqueleto da jiboia, o destaque foi o movimento que a estrutura permite, por conta das vértebras junto com as costelas que formam anéis, mesmo com a estrutura rígida do animal.

Na investigação morfológica, fiz quatro versões. A inicial utilizando uma espiral como a coluna vertebral, junto a costelas de papel. Nessa estrutura, estudei possíveis encaixes entre as duas estruturas. Porém não consegui entender o funcionamento das vértebras.



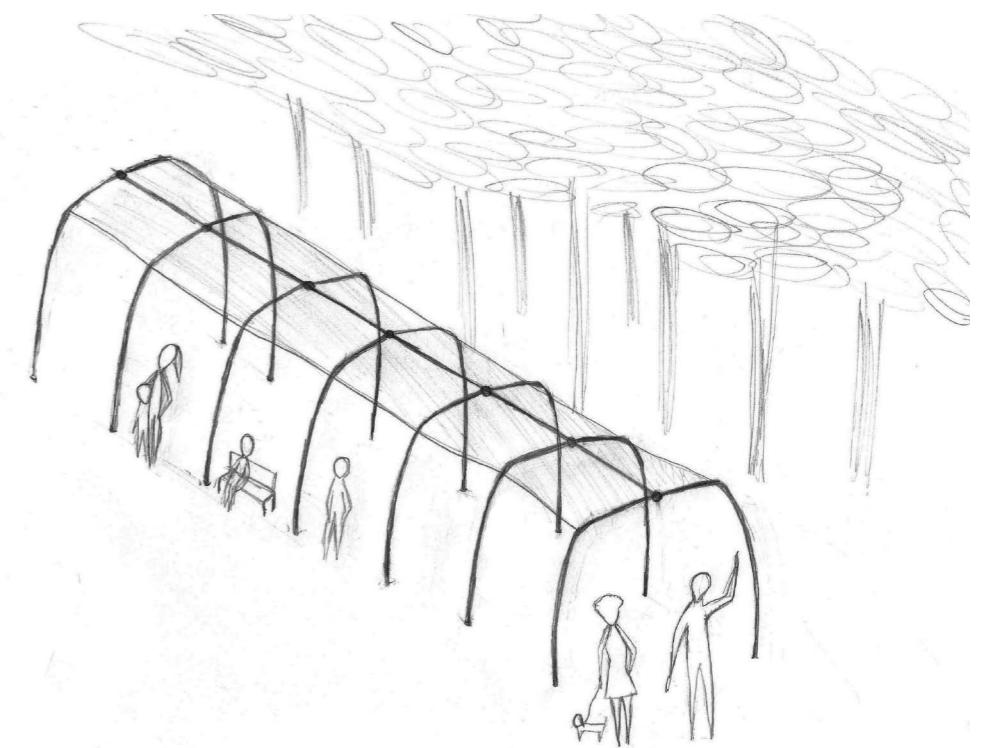
Modelo de cobertura baseado na jiboia.



Modelo de cobertura baseado na jiboia.

Em seguida, construí modelos em arame, que possuem rigidez, mas permitem a maleabilidade da estrutura. Fiz dois testes, um todo em arame, e um com papel kraft, compondo a parte das costelas.

As ideias iniciais de projeto com inspiração na jiboia, foram duas. A primeira foi um banco que possua a movimentação como a das vértebras ao redor do eixo central, podendo dessa forma ficar com diferentes formas e posições. A segunda possibilidade, seria uma estrutura de cobertura, com a estrutura da coluna vertebral, e os ossos das costelas funcionando como pilares.



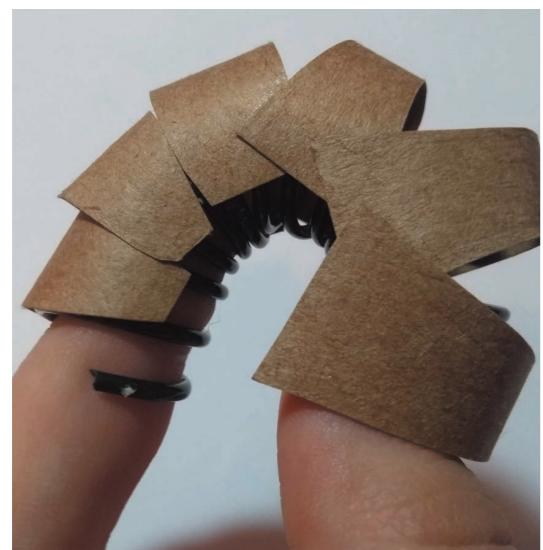
Ideia de projeto a partir da jiboia.

lagostim *Astacidea Latreille*

A análise do lagostim, apresentou como principal destaque o exoesqueleto resistente aliado a movimentação da estrutura. Esse foi o ponto de partida para a investigação morfológica.



Modelo com a mola de espiral.

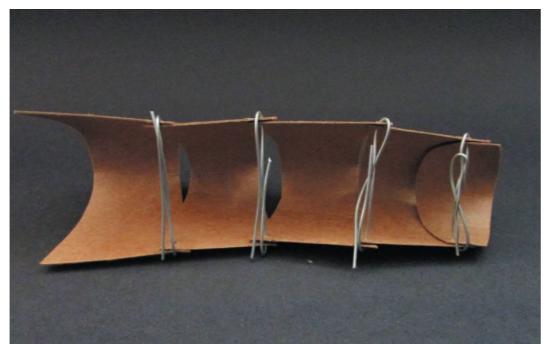


Modelo com a mola de espiral.

Para os modelos de reprodução da estrutura, utilizei três técnicas. No primeiro estudo, utilizei um espiral de cadernos, para reproduzir o corpo maleável do crustáceo, existente embaixo do exoesqueleto, e partes de papel kraft ao redor para o exoesqueleto. Porém dessa forma, não reproduziu o modo como o movimento se dá, ou seja, por meio de estruturas musculares aliadas ao exoesqueleto.



Modelo com casca em kraft e ligações em arame.



Modelo com casca em kraft e ligações em arame.



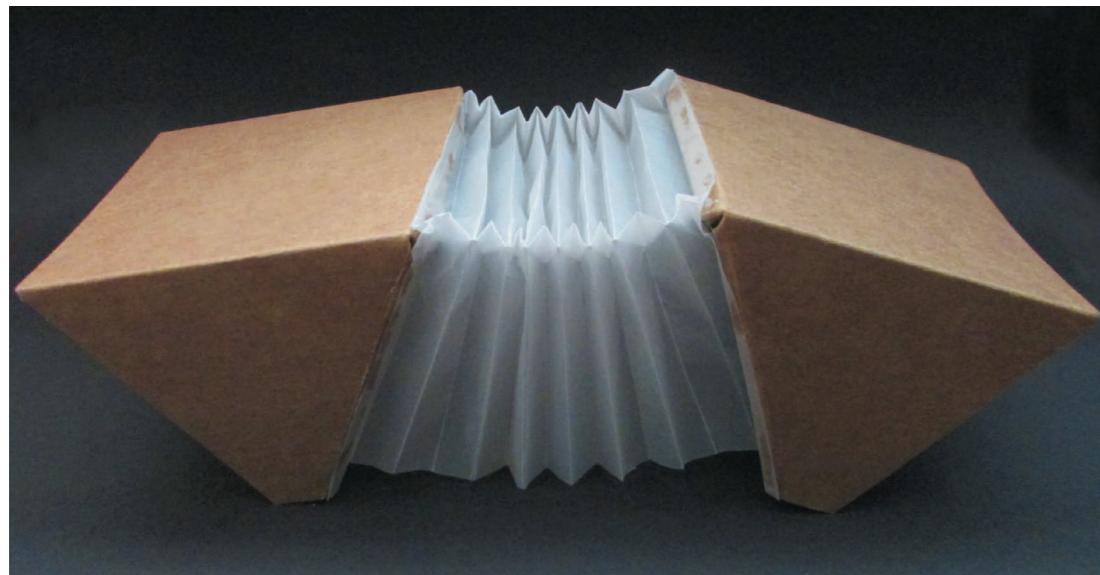
Modelo com linhas, papel kraft como a casca e papel manteiga como pele que une as cascas.

No segundo modelo, reproduzi apenas o exoesqueleto, com papel kraft e as ligações musculares com arame entre as peças.

Dessa maneira, consegui o resultado da "casca" rígida junto à maleabilidade do corpo.

Neste modelo ainda faltava a parte que une as peças do exoesqueleto, como uma pele.

No modelo seguinte, substituí o arame por nós em linhas, liberando assim a parte de baixo do modelo. Além disso, adicionei papel manteiga para unir as peças da "casca".



Modelo com papel sanfonado como junção maleável.

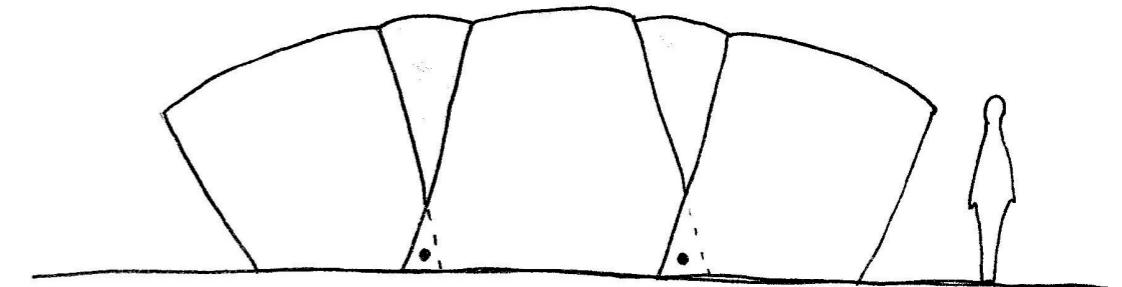


Modelo com amarração de linhas.



Modelo com amarração de linhas.

Após essa etapa, mudando a abordagem, fiz um modelo sem as linhas como amarração, com um papel sanfonado como reprodução da parte maleável do animal. Nele, a parte rígida foi feita com papel kraft. Neste modelo, não foi bem resolvida a questão da rigidez da estrutura como um todo.

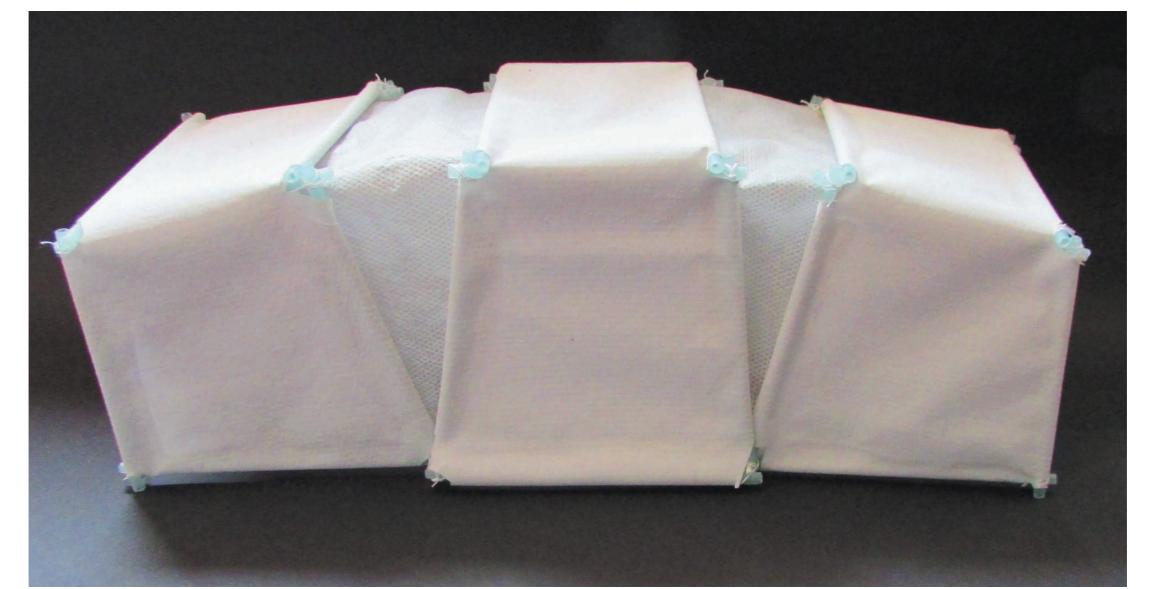


Ideia de projeto de abrigo a partir do lagostim.

Retornando ao modelo com a amarração, fiz testes pensando em um possível projeto final de abrigo emergencial. O primeiro, em escala menor, com papel kraft e papel manteiga, onde simplifiquei o desenho da casca do lagostim, repetindo o modelo com as amarrações em linha, agora com formas retilíneas. Por fim, executei um modelo com materiais plásticos (tecidos sintéticos e tubos plásticos), fixados com linhas de pipa.

Neste exemplar, as partes rígidas são definidas pela estrutura de tubos plásticos, enquanto as conexões maleáveis são peças de tecido que unem a estrutura.

Como dito anteriormente, a proposta de projeto a partir desta espécie, foi a de um abrigo emergencial. Esta ideia, deu início à pesquisa que foi utilizada para o desenvolvimento do projeto final.



Modelo em plástico da ideia de projeto a partir do lagostim.

araucária excelsa

Araucaria heterophylla (folhas)



Modelo inicial em madeira balsa e PVC.
Vista frontal.



Modelo inicial em madeira balsa e PVC.
Vista superior.

Após orientação, retornei à observação da estrutura, a fim de entender exatamente como se dava a fixação. No exemplo natural, as folhas possuem uma protuberância para o encaixe no caule, que por sua vez possui uma marca do formato negativo dessa protuberância, facilitando o encaixe. A fixação, se dá por meio de um adesivo natural da planta, a lignina. Para os modelos seguintes, utilizei o plástico polionda para as folhas.

Nas tentativas de reprodução dessa solução, encontrei várias dificuldades, pois no mundo construído, a peça da protuberância, acabava trazendo fragilidade à estrutura, além de adicionar mais materiais ao conjunto. Por isso, inicialmente decidi reproduzir a fixação de maneira adaptada. A fixação no vegetal é eficiente, travando a

A última espécie selecionada, apresentou como principal característica, a rigidez dos elementos, aliada a maleabilidade da estrutura. As folhas da araucária excelsa se organizam em trios, ao longo de uma extensa corrente.

Para reproduzir as folhas, foi pensada uma estrutura com três peças com a forma das folhas, distribuídas ao longo de um eixo central. Assim, reproduzindo a forma natural.

Numa primeira reprodução das folhas, utilizei madeira balsa como as folhas e um pedaço de tubo PVC para a estrutura central, e colei as duas partes.

movimentação em todas as direções. É também necessária a adição de outro elemento para ligar as duas partes, no exemplo natural, a lignina.

Dessa forma, executei testes com formas de fixação diferentes, para unir as "folhas" à estrutura central. Essa estrutura de fixação extra, tem como papel reproduzir a protuberância e a cola natural. Para pensar em métodos de fixação eficientes, consultei o livro *Design paradigms* (WAKE, Warren) como referência, especificamente os capítulos sobre fixação.

Os paradigmas selecionados foram: o da costura, o da cola e o do velcro. Cinco maneiras de fixação foram testadas, cola, costura, velcro, elástico e abraçadeiras de nylon.

Fiz os primeiros testes com a cola. Foi uma maneira simples de execução, porém não seria eficiente em escala real, não tendo se mostrado como uma solução de montagem. Após isso, fiz testes com costura. Para uma montagem in loco, seria uma solução complicada, porém de baixo custo e fácil preparo de peças. Testei em seguida uma solução derivada da costura, com abraçadeiras de nylon, que se mostrou mais eficiente para o projeto.

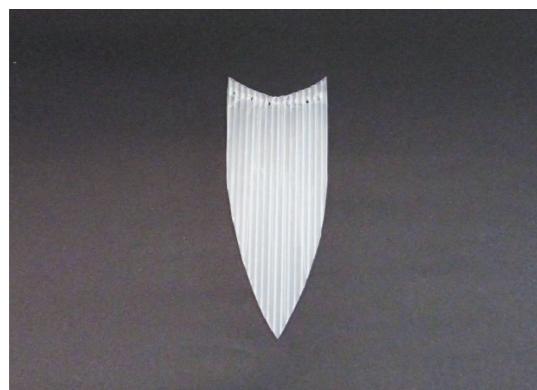
Nos testes feitos com o velcro, obtive resultados melhores, porém ainda não senti que a questão estava resolvida, devido à fragilidade que o velcro teria em uma estrutura de maior tamanho, não sendo uma fixação resolvida como a do exemplo natural. A seguir, fiz testes com elásticos, que produziram bons resultados, facilmente posicionando as peças em seus locais, mas apresentou problemas na manutenção da fixação.



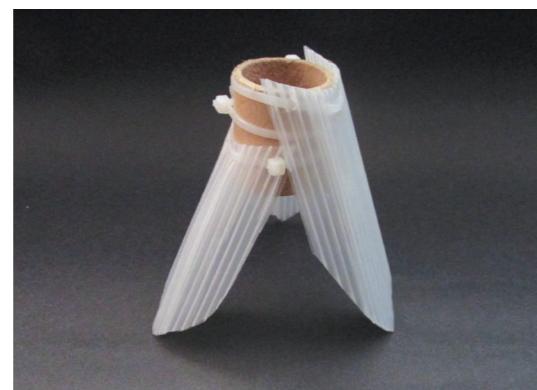
Modelo com velcro e elásticos. Vista superior.



Modelo com velcro e elásticos. Vista frontal.



Peça em chapa de polionda.



Modelo com abraçadeiras de nylon.
Vista frontal.



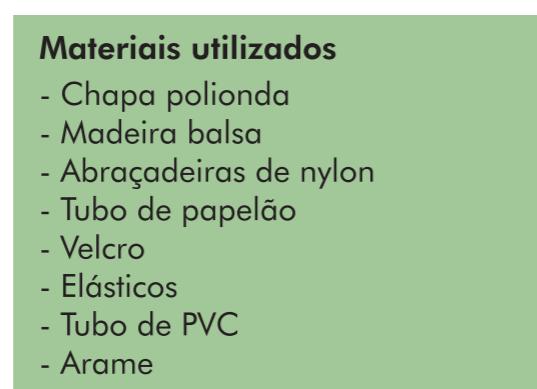
Modelo com abraçadeiras de nylon.
Vista superior.



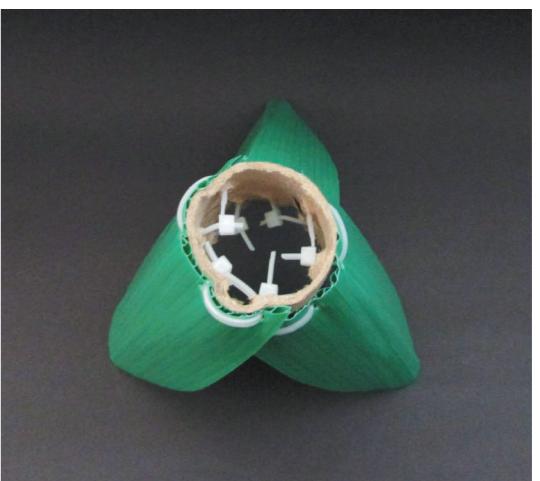
Modelo com abraçadeiras de nylon.
Vista frontal.



Variação do modelo com abraçadeiras de nylon. Vista frontal.



Por essa razão, executei outra tentativa, fixando algumas abraçadeiras em cada peça, com furos tanto nas peças, como no cilindro central, resolvendo o problema do tamanho da abraçadeira. Essa solução, tendo sido a mais firme e ajustada, foi a que se aproximou mais do exemplo natural. E essa forma, se assemelha à costura, possuindo vantagens em relação à praticidade e resultado.



Variação do modelo com abraçadeiras de nylon. Vista superior.



Variação do modelo com abraçadeiras de nylon. Vista frontal.

A seguir, produzi modelos com variações da estrutura central, a fim de sintetizar os materiais e encaixes. Nestes modelos, foi possível observar não somente o potencial do material, mas também algumas fragilidades, como a dificuldade de travar as peças em posição correta ao redor do eixo central e como garantir o ângulo correto de fixação.

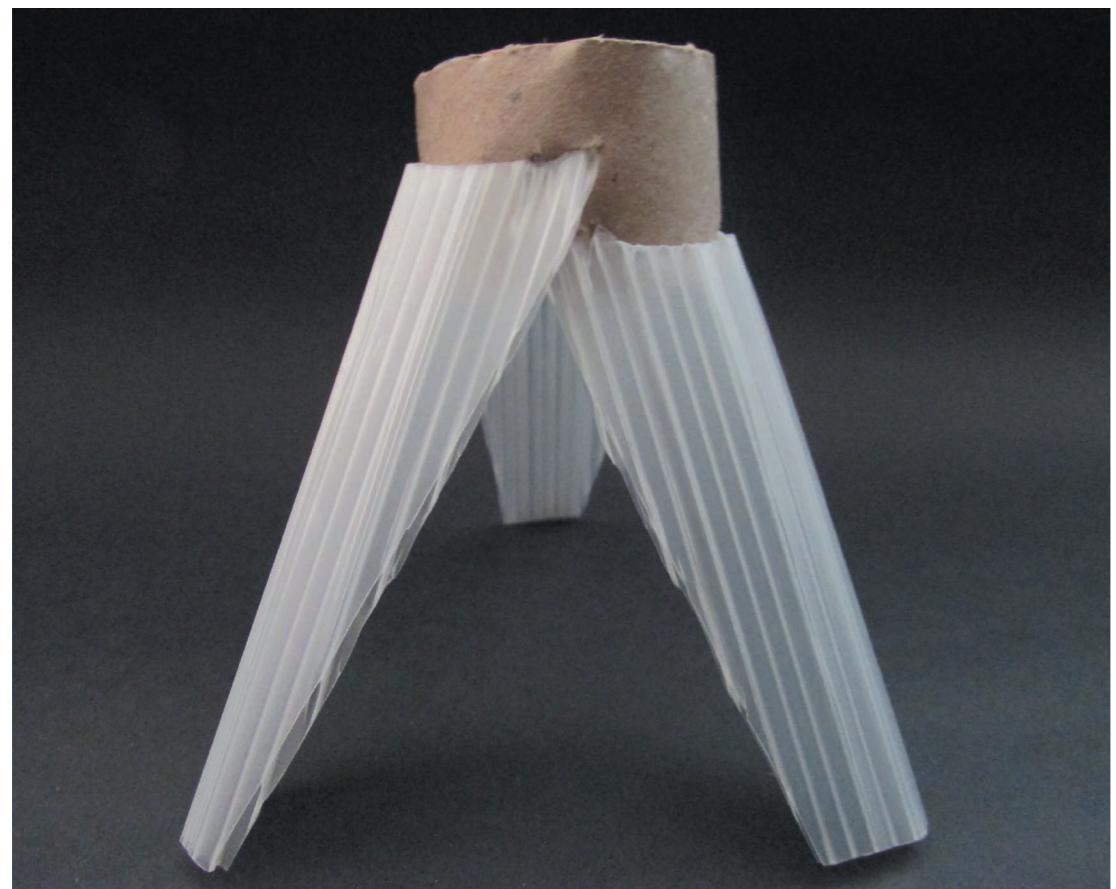
Efetuei modelos onde somente encaixes faziam o papel da fixação no eixo central. Alguns desses utilizando somente a chapa de polionda.



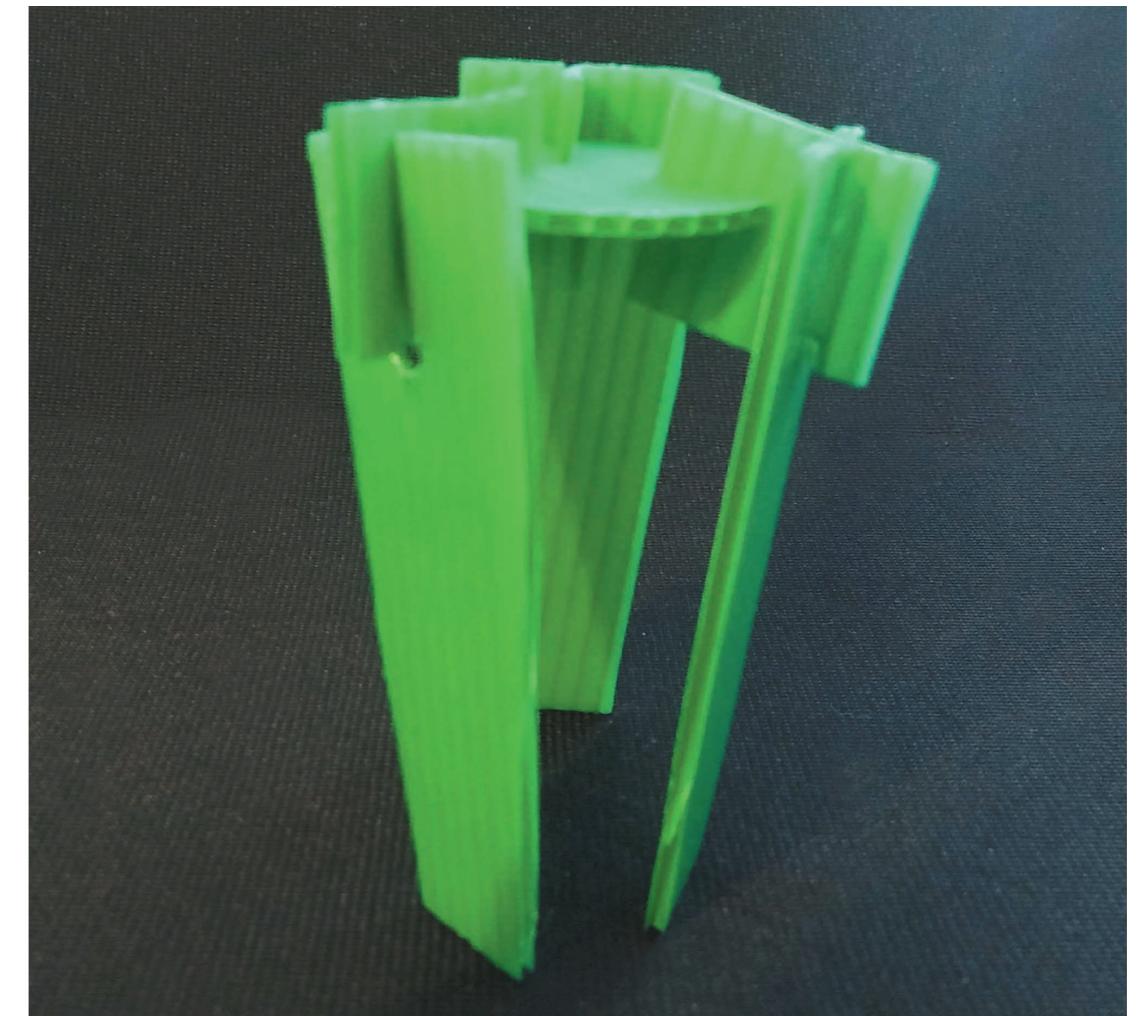
Modelo utilizando encaixes. Vista frontal.



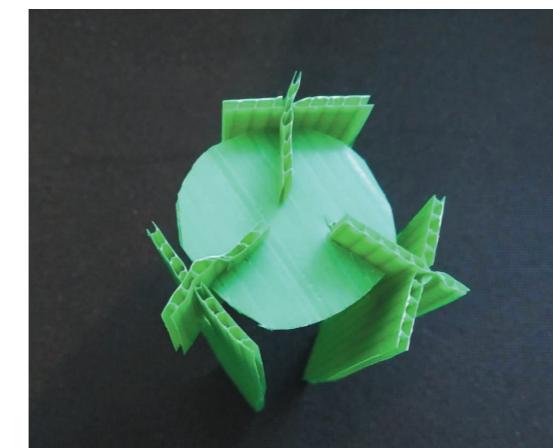
Peça com desenho para encaixe no tubo.



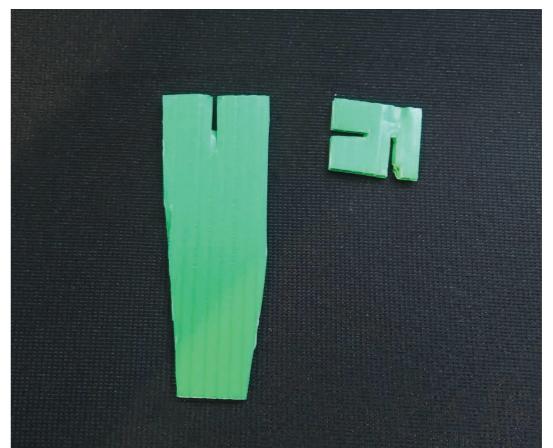
Modelo com encaixes e tubo de papelão. Vista frontal.



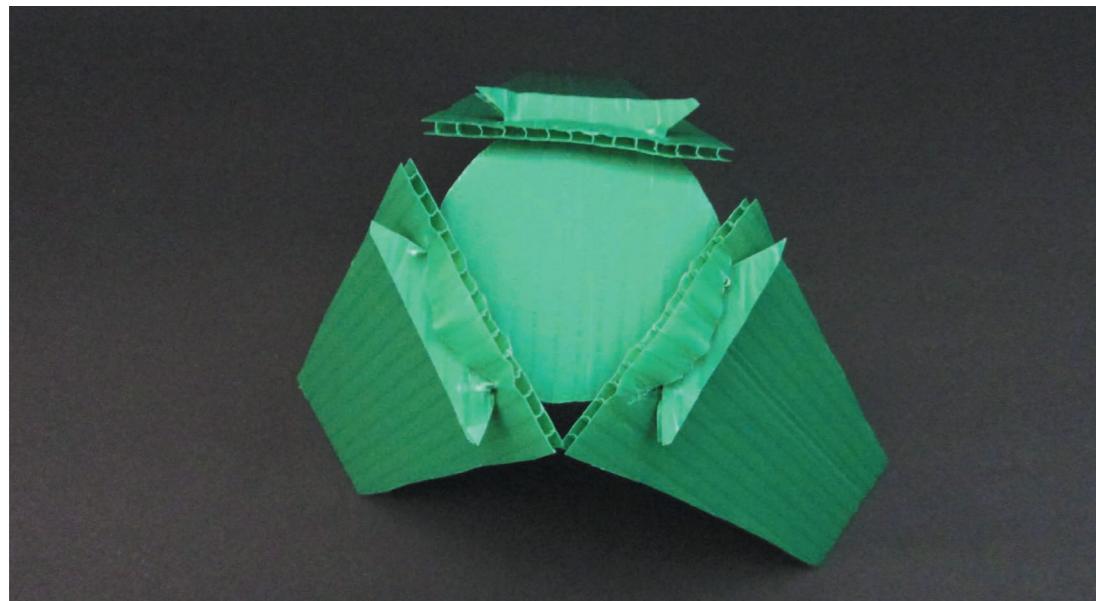
Modelo com encaixes somente com a chapa polionda. Neste, três peças prendem os módulos à peça central. Vista frontal.



Vista superior do modelo.



Peças do modelo.



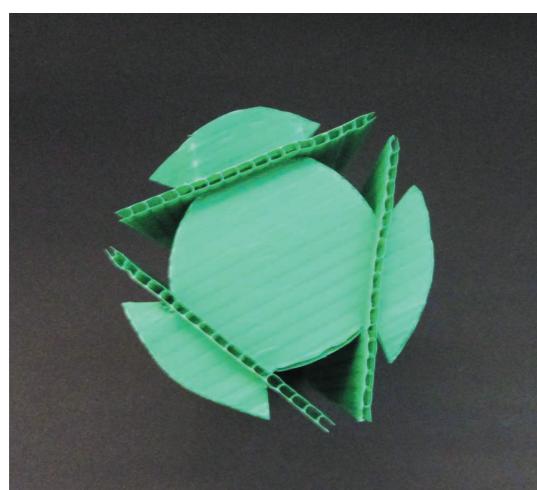
Modelo efetuado com encaixes, com eixo central circular com abas. Vista superior.



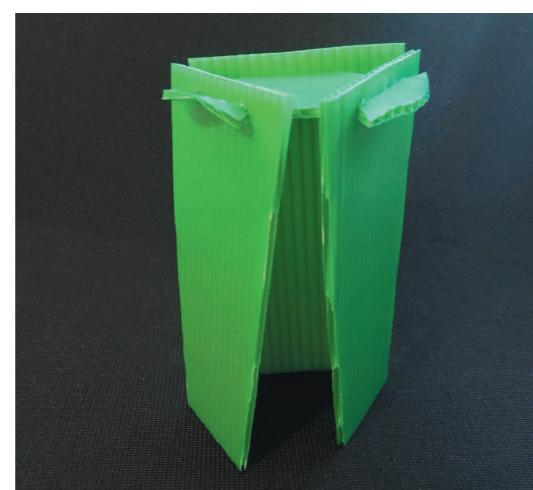
Modelo efetuado com encaixes, com eixo central circular com abas.



Peças do modelo.



Modelo efetuado com encaixes, com eixo central circular com abas. Vista superior.



Modelo efetuado com encaixes, com eixo central triangular com abas. Vista frontal.



Modelo com arame prendendo as placas. Vista superior.



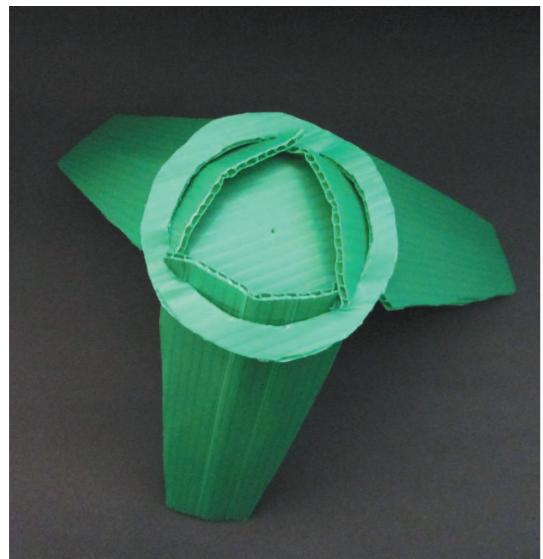
Modelo com arame prendendo as placas. Vista frontal.



Modelo com encaixes, com eixo triangular. Vista frontal.



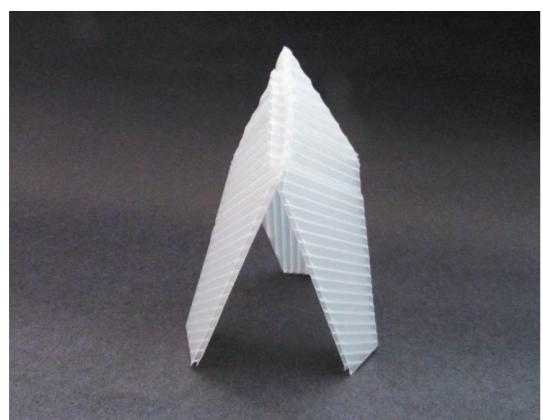
Peças do modelo.



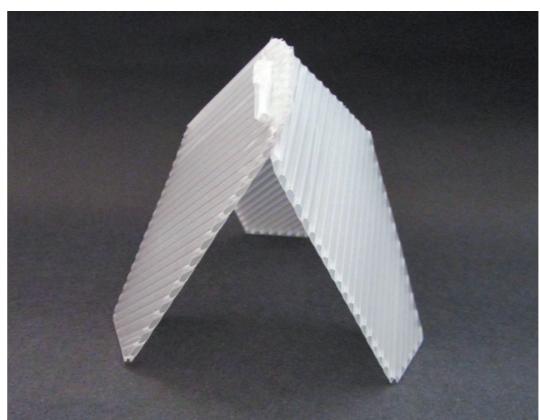
Modelo efetuado com encaixes, com eixo central circular. Vista superior.



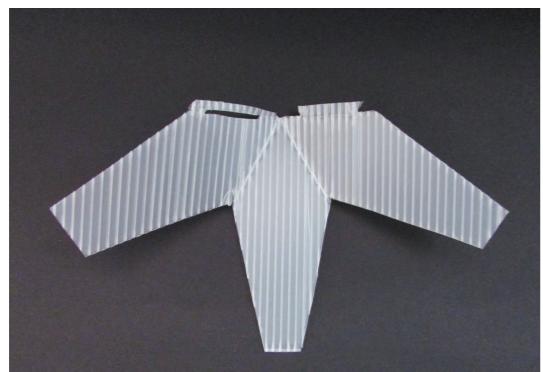
Modelo efetuado com encaixes, com eixo central circular. Vista frontal.



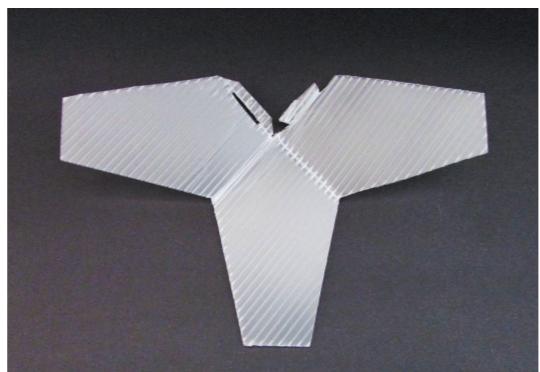
Modelo em peça única. Vista frontal.



Variação do modelo em peça única. Vista frontal.



Modelo em peça única planificado.

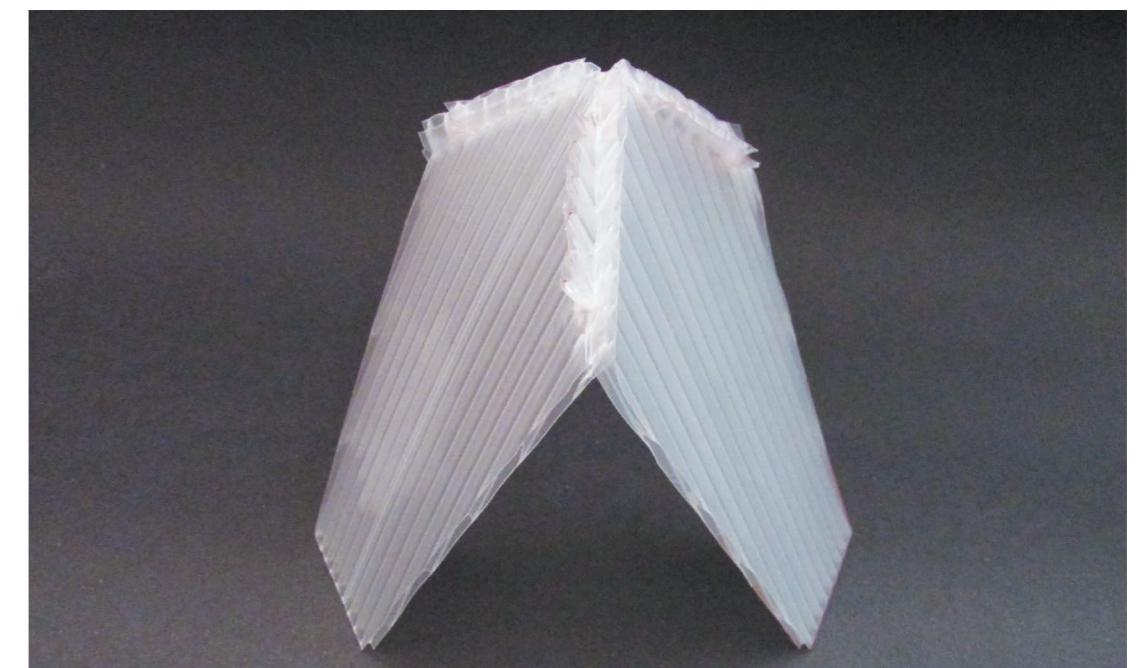


Variação do modelo em peça única planificado.

A fim de sanar a fragilidade do encaixe com o eixo, efetuei modelos que omitiam a estrutura central, onde as três peças se unem no centro, criando um eixo. Primeiramente com uma peça planificada única, dobrada e depois, com três peças planificadas com encaixes.

Nos modelos efetuados com uma só peça dobrada e encaixada, obtive a maior resistência e travamento, porém não seria viável para o projeto final, devido à escala de produção.

Por essa razão, separei a peça planificada em 3 peças individuais, com encaixes em todas elas. Este modelo foi o escolhido para servir de base para a próxima etapa do trabalho, a tradução em projeto.



Modelo derivado do em peça única, com 3 peças iguais encaixadas. Vista frontal.



Peça do modelo.



Modelo com 3 peças encaixadas. Vista superior.



05

TRADUÇÃO
EM PROJETO

05. Tradução em projeto

Após a execução de modelos para as 4 espécies, foi selecionada somente uma para a etapa final, de tradução em projeto. A espécie escolhida, foi a araucária excelsa, por ter apresentado maior potencial e possuir a investigação morfológica mais desenvolvida.

a) Abrigo emergencial

A escolha do projeto final, veio da vontade de exercer uma função social em meu trabalho, junto ao potencial apresentado pela espécie de ser traduzida em uma estrutura de abrigo. Por essa razão, decidi projetar um abrigo emergencial, o abrigo excelsa.

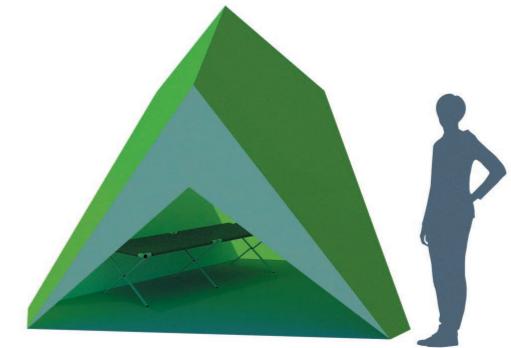
Como base teórica para as questões técnicas do abrigo, consultei duas fontes bibliográficas: *Abrigos temporários de caráter emergencial* (ANDERS, Gustavo C.) e *Design sem fronteiras* (BARBOSA, Lara Leite).

A partir da pesquisa, estabeleci questões a serem resolvidas no projeto desenvolvido, para guiar minhas decisões:

- ter baixo preço de produção;
- permitir a instalação em ambientes abertos e fechados;
- ser durável;
- ser reutilizável;
- ter fácil manutenção;
- evitar que seja utilizado como permanente;
- possuir fácil montagem;
- ser de fácil transporte;
- garantir a privacidade daqueles que o utilizarem;
- proteger de intempéries;
- garantir o conforto climático;
- possibilitar o abrigo de famílias de diferentes tamanhos.



Folhas da araucária excelsa.

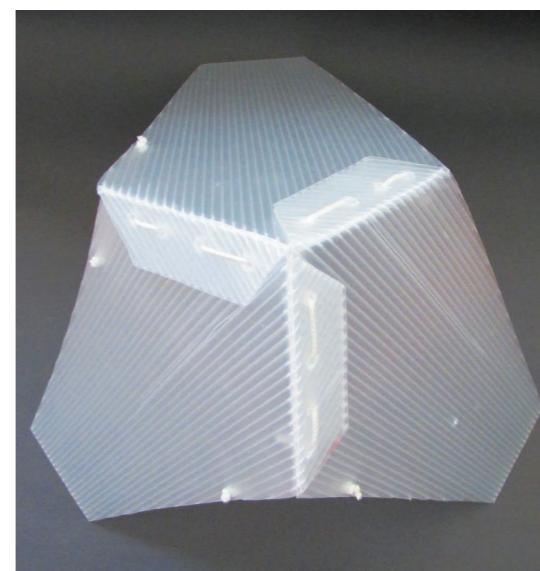


Estudo do abrigo emergencial excelsa.

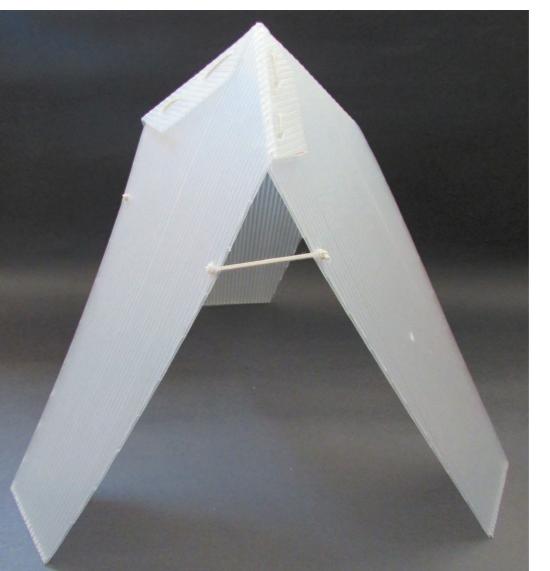
Para iniciar essa etapa, defini o material principal para o projeto, a chapa polionda, fabricada em várias espessuras e com tamanho de fabricação personalizado.

Trabalhei com a chapa de 1mm de espessura e efetuei três modelos em escala 1:10, pensando na chapa de 5 mm, existente no mercado, para o projeto. Sendo assim, a espessura da chapa no modelo, está com o dobro da espessura real, devido às limitações do material. A chapa de polionda possui preço acessível, alta durabilidade, possui boa característica térmica, preenchendo os requisitos para o projeto.

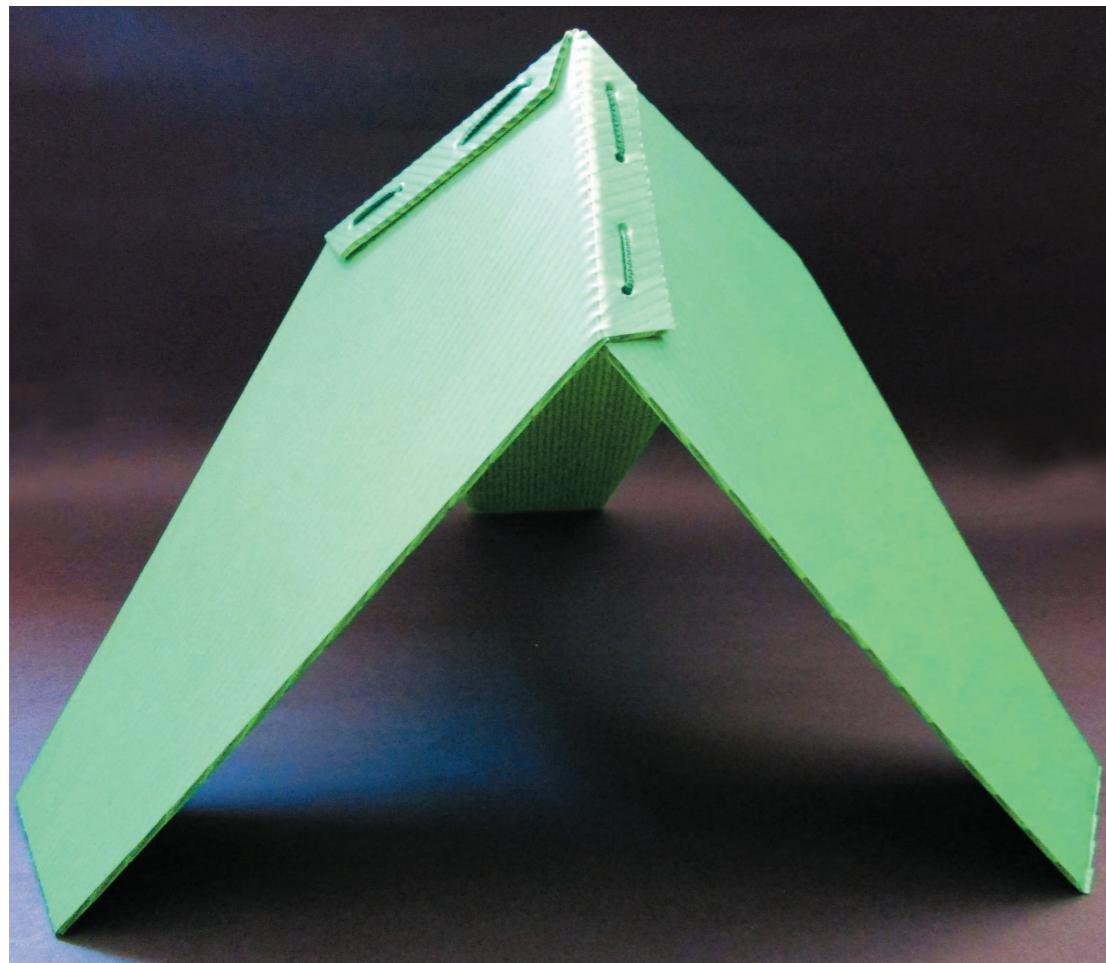
Nos primeiros modelos, fiz três peças planificadas, fixadas com abas umas nas outras. Testei a fixação com elásticos e abraçadeiras de nylon. Nesses modelos, experimentei diferentes proporções, para identificar pontos de fraqueza na estrutura.



Primeiro modelo de tradução. Escala 1:10. Vista superior.



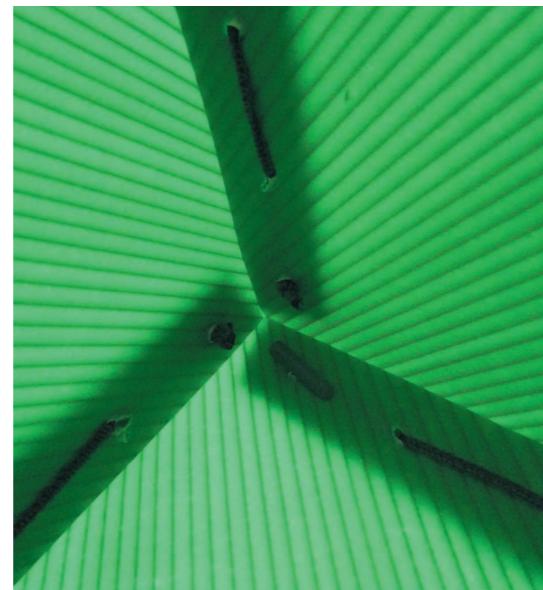
Primeiro modelo de tradução. Escala 1:10. Vista frontal.



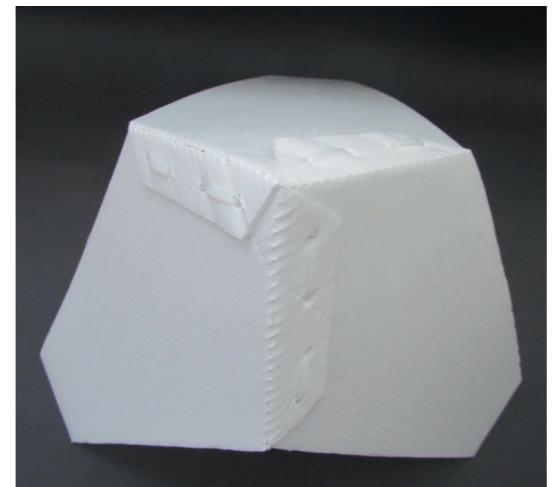
Vista frontal do segundo modelo de estudo do abrigo.

Nos testes de proporção, foi possível observar diferentes relações entre altura e largura, para definir se o abrigo seria de uso somente de um adulto sentado ou de pé, e quantas pessoas caberiam nele.

Testei também nesta etapa, diferentes cores para o abrigo. Fiz testes na cor branca e verde. Sendo a verde a escolhida para o modelo final, por ter mais destaque, além de possuir boas características térmicas, próprias da chapa polionda.



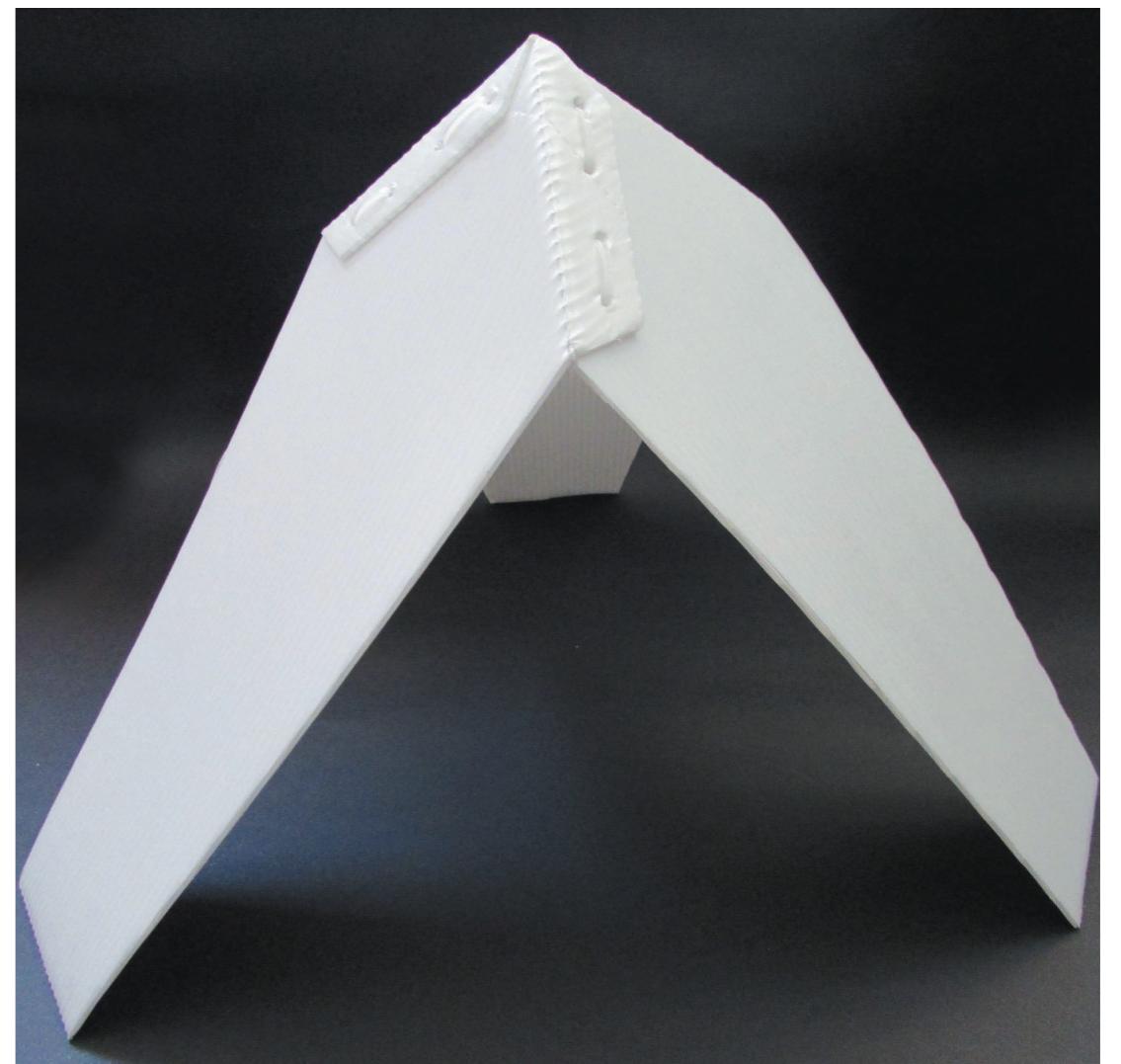
Vista interna do modelo fixado com elásticos.



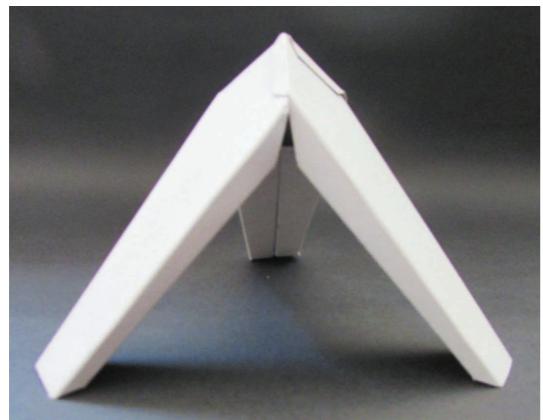
Terceiro modelo. Vista superior.

Nestes estudos, foi possível perceber, que as chapas simples, somente unidas por abas, não seriam suficientes para travar a estrutura do abrigo.

As placas mostraram tendência de flambagem e a estrutura cedia consideravelmente quando pressionada no topo. Essas fragilidades, foram os pontos críticos de estudo a partir destes modelos.



Terceiro modelo. Este com a melhor proporção entre altura e largura. Vista frontal.



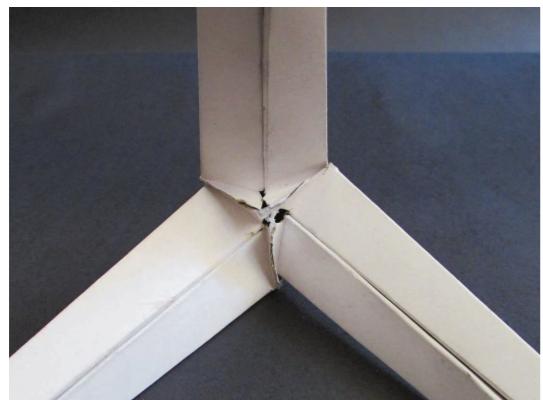
Primeiro modelo em escala 1:50, com estrutura reforçada. Vista frontal.



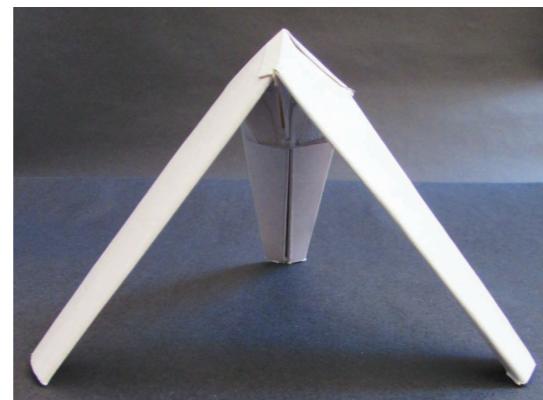
Primeiro modelo em escala 1:50, com estrutura reforçada. Vista superior.

A fim de sanar as fragilidades do modelo, fiz novos testes em papel duplex, em escala 1:50. Nesses modelos, fiz estruturas reforçadas, com abas de papel em estilo “asa de avião”. No primeiro, embora as faces tenham ficado firmes, por conta da viga dupla, o topo do modelo se tornou ainda mais frágil, abrindo-se quando pressionado. Para solucionar esta questão, executei um modelo com aletas internas, unindo as faces com cola. Nesta versão, fiz as peças com desenho mais simples, retirando uma das faces, o que trouxe maior estabilidade para o modelo.

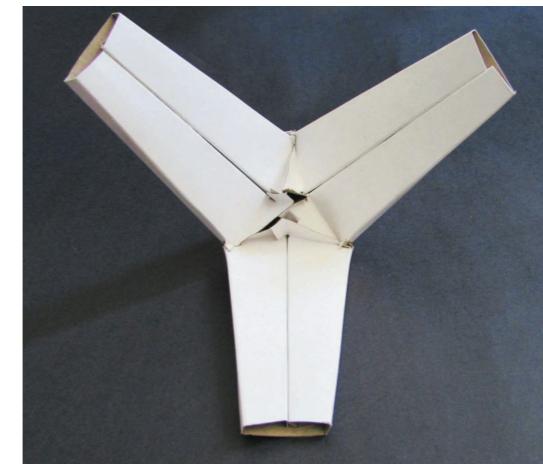
No modelo com a peça de seção triangular e as aletas internas, obtive um bom desempenho. Para testar qual das soluções havia sido a responsável pela estabilidade, efetuei um teste com as aletas, mas com a seção quadrada, assim como no primeiro teste. Nesta etapa, ficou evidente que somente as aletas não seriam suficientes para garantir a estabilidade.



Vista posterior do modelo com seção triangular e aletas internas coladas. Vista interior.



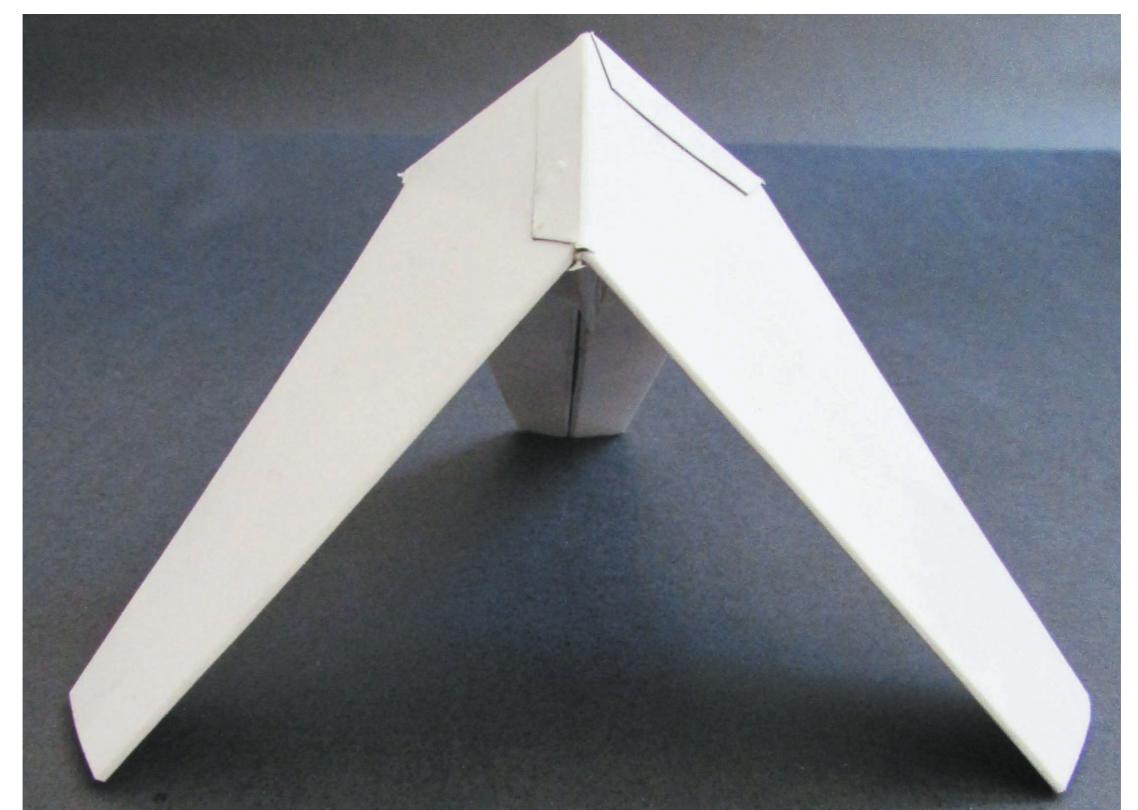
Modelo com seção triangular e aletas internas coladas. Vista frontal.



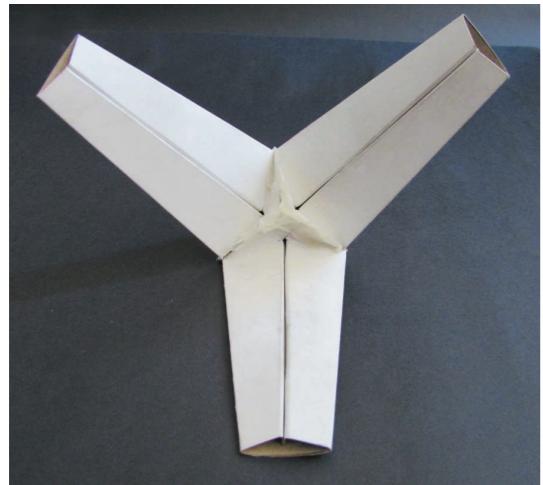
Modelo com aletas e lateral quadrada. Vista interior.

Por essa razão, retornoi à solução triangular, dessa vez testando diferentes proporções, tanto de altura e largura como das aletas internas.

Como estes modelos foram feitos em escala 1:50, mantive as aletas unidas por meio de cola, e fita adesiva.



Modelo com seção triangular e aletas internas coladas, testando proporções diferentes. Vista frontal.



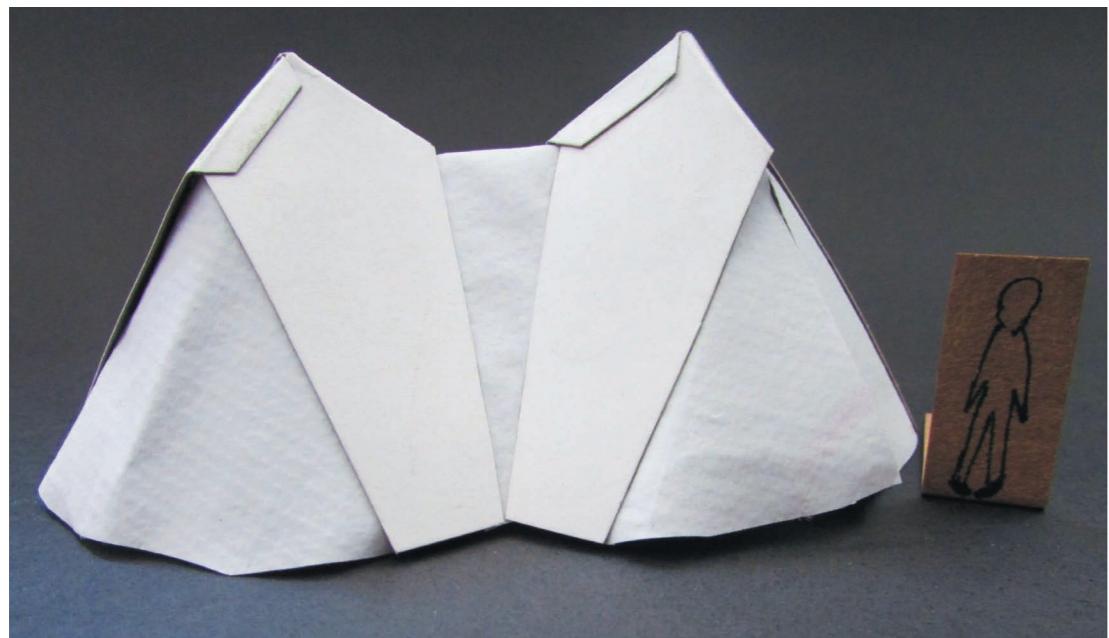
Variação do modelo com seção triangular e aletas internas. Vista interior.



Variação do modelo com seção triangular e aletas internas. Vista interior.

Além das análises estruturais dos modelos, efetuei um estudo de acoplamento de dois abrigos, utilizando papel e tecido, aproveitando sua característica modular, a fim de conseguir abrigar famílias de diferentes tamanhos. No modelo unitário, será possível abrigar duas pessoas, e no duplo, o número dobra. A única adaptação necessária, é um fechamento de tecido diferente para esta finalidade.

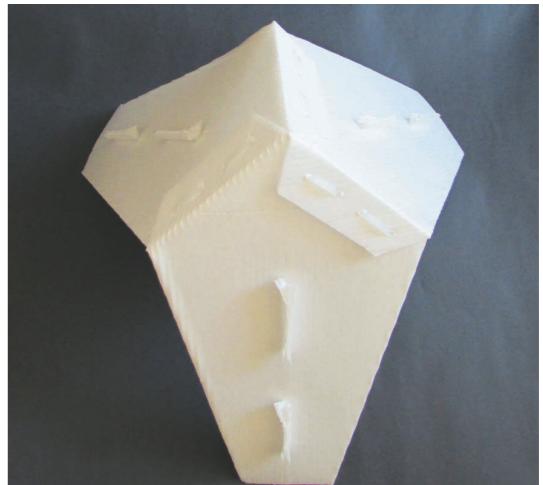
Terminados estes estudos, sabendo quais características seriam necessárias para o abrigo, voltei a trabalhar em modelos na escala 1:10.



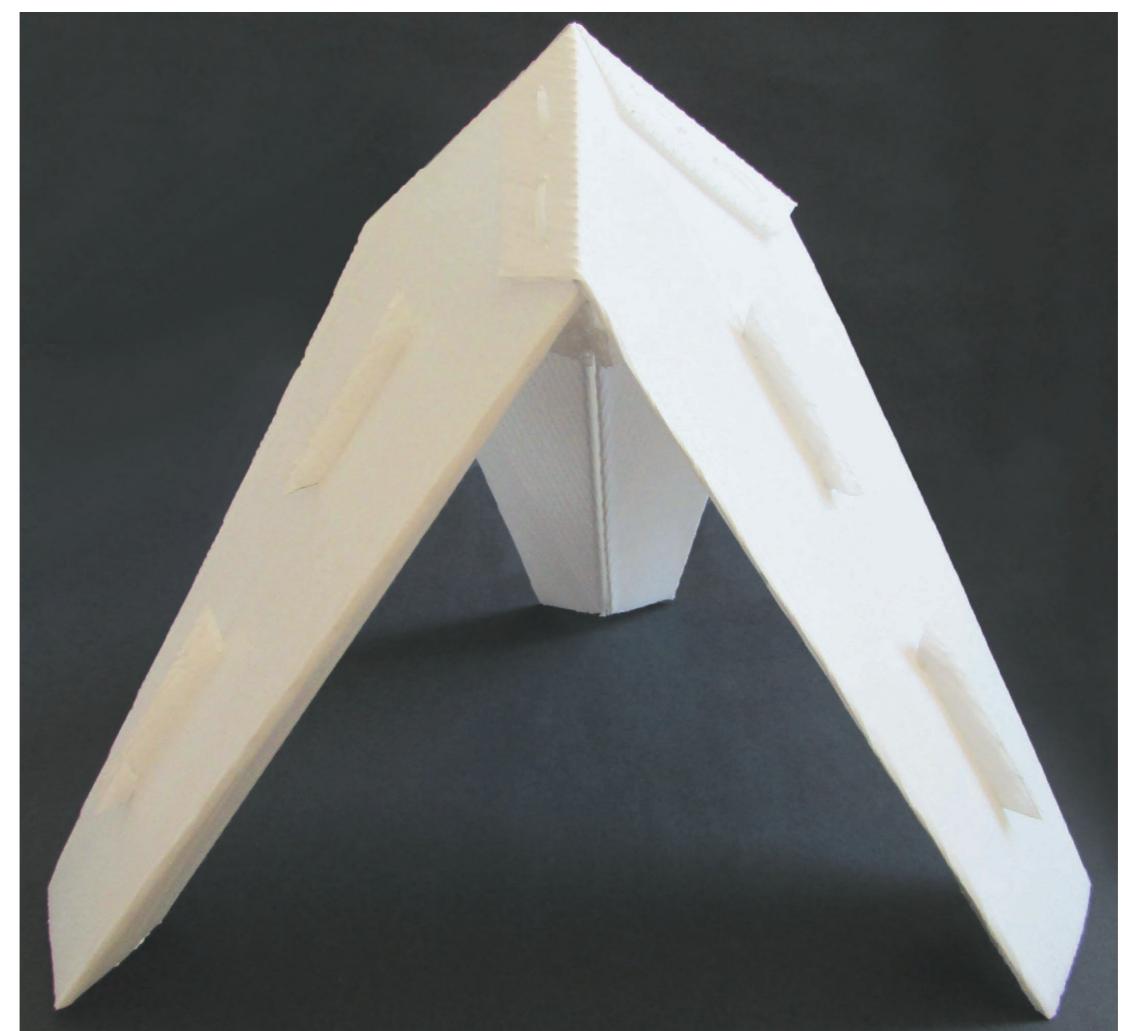
Estudo de possibilidade de acoplar dois abrigos, com a ideia de modularidade. Vista frontal.

Nesta etapa de execução dos modelos estruturados, em escala 1:10, mantive o que identifiquei como soluções estruturais na etapa anterior, e fiz algumas alterações, pensando na construção real do abrigo.

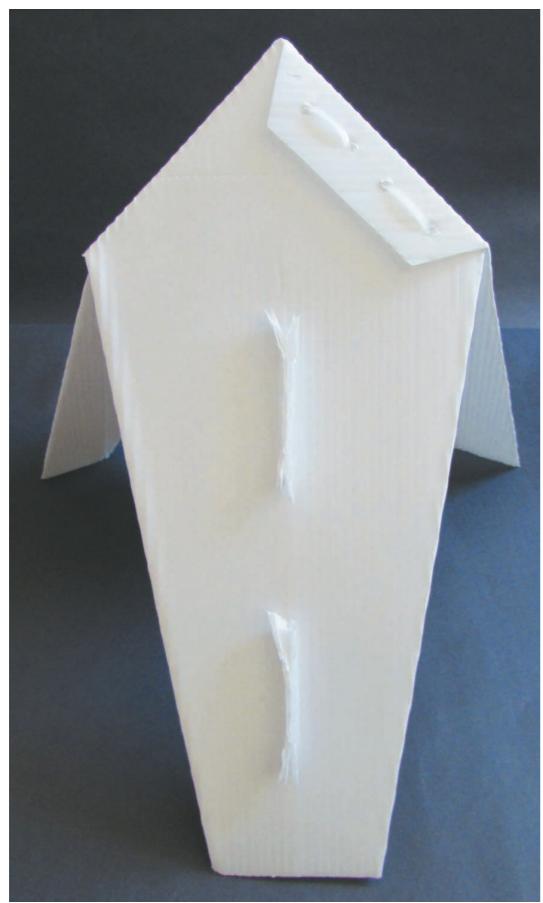
Executei as peças partindo de uma planificação, que se fecha com aletas travadas na própria peça. Dessa forma, não necessitando de máquinas para a montagem.



Primeiro modelo estruturado em 1:10. Vista superior.



Primeiro modelo estruturado em 1:10. Vista frontal.



Primeiro modelo estruturado em 1:10.
Vista frontal.

Além das aletas que travam a peça fechada, as ligações entre as peças são todas feitas com abraçadeiras de nylon que são de baixo custo e fácil uso.

As aletas internas são unidas em pares e uma abraçadeira de nylon une as três peças no centro do abrigo, funcionando como um anel de travamento.

No primeiro modelo desta etapa, a viga possuía 20 cm de espessura, o que se mostrou excessivo para o abrigo. Além disso, a espessura grande ocupava muito espaço na parte interna.

Por esse motivo, fiz um segundo modelo, revisando a espessura da viga, e fazendo outros ajustes.



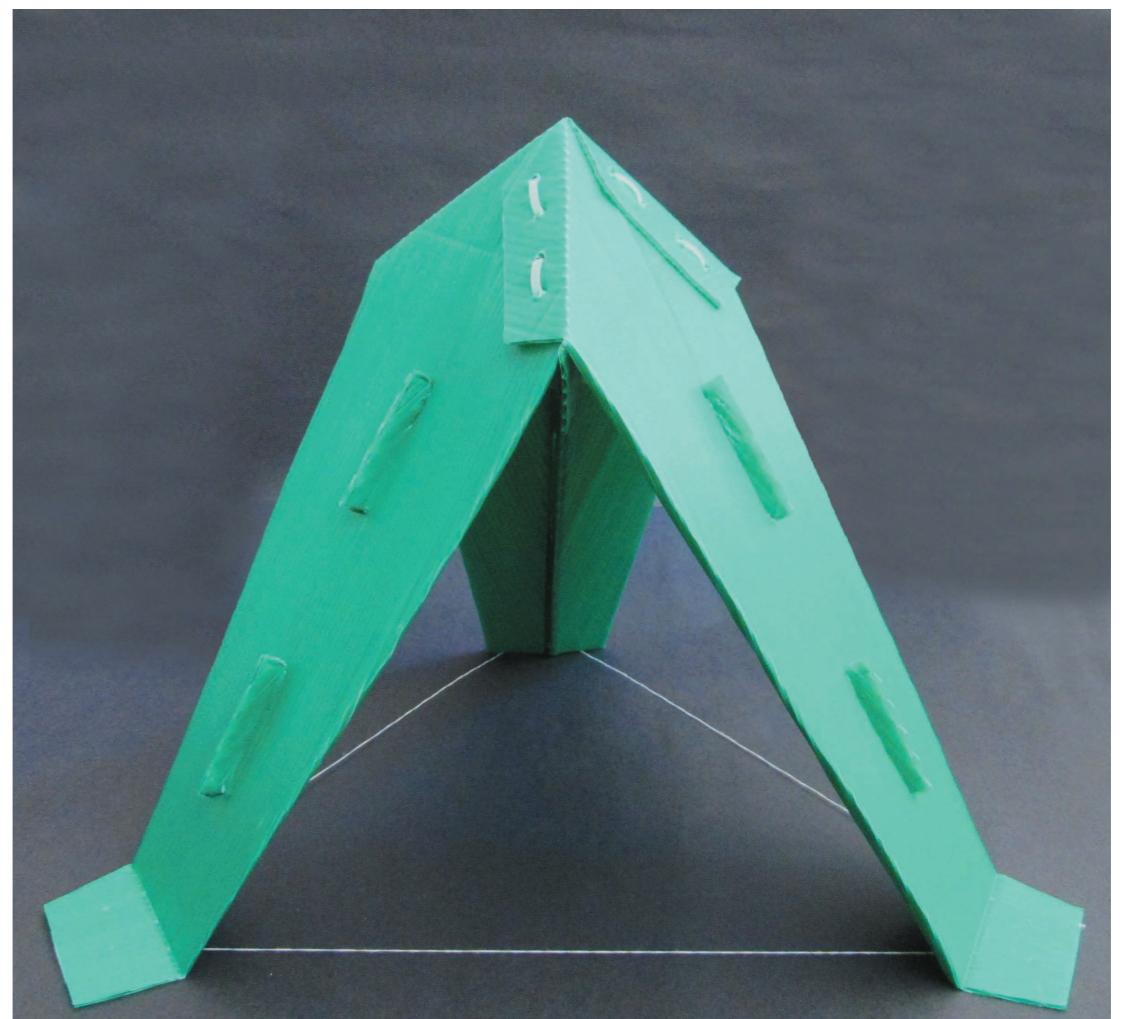
Vista interior do abrigo estruturado. Vista posterior.



Segundo modelo. Vista superior.

No segundo modelo, além de diminuir a espessura da viga para 10 cm, adicionei abas de 30 cm para fixar o abrigo no chão com estacas, em ambientes abertos. Além disso, com uma linha passando por toda a base do abrigo reforcei o travamento da estrutura.

Nesta versão, as proporções escolhidas foram boas, mas ainda poderiam ser aperfeiçoadas, para um melhor aproveitamento da área interna.



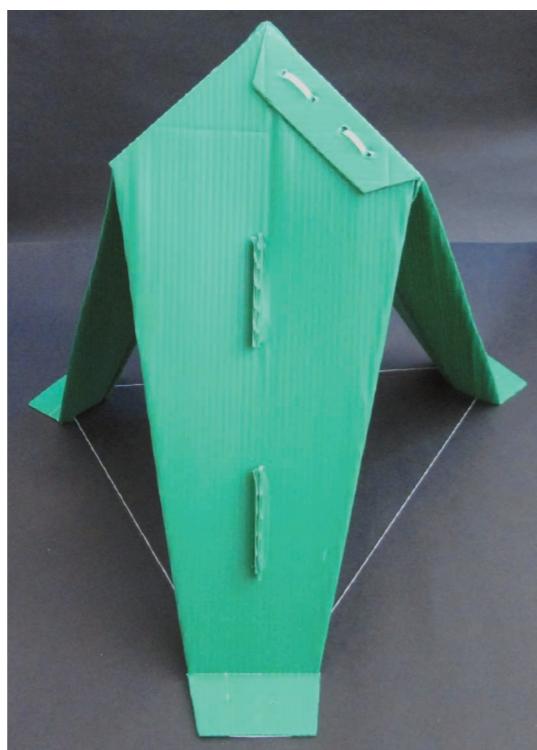
Modelo revisado, com aba para fixação no chão. Vista frontal.



Vista interior do modelo, mostrando a fixação das aletas.



Detalhe da aba de fixação e da linha de travamento.



Modelo revisado, com aba para fixação no chão.

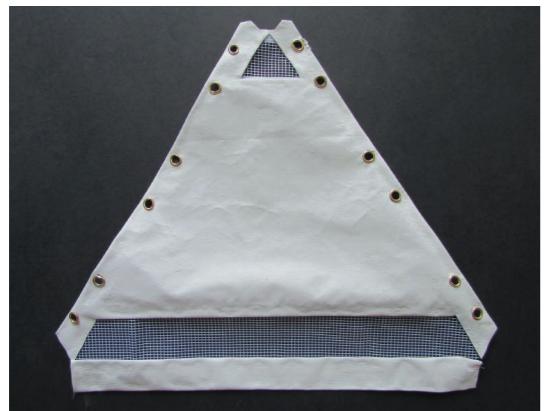
b) Modelo final

Após pensar em soluções de encaixe, travamento da estrutura, ajustar as proporções do modelo e o desenho das peças, executei o modelo final do abrigo. Neste, foi realizada a solução de fechamento, em tecido e tela. A fixação do tecido foi feita na parte interna do abrigo, a fim de destacar a estrutura.

Fiz o protótipo com novas proporções, observando nos anteriores o que havia sido eficiente, e fiz as peças em tecido. São três lados revestidos com tecido, um com a peça de entrada e dois com a peça de fechamento, com telas na parte superior e inferior para ventilação e iluminação. Assim como os anteriores, executei este modelo em escala 1:10.



Modelo final do abrigo. A camada de tecido é fixada por dentro, para não esconder a estrutura. Vista frontal.



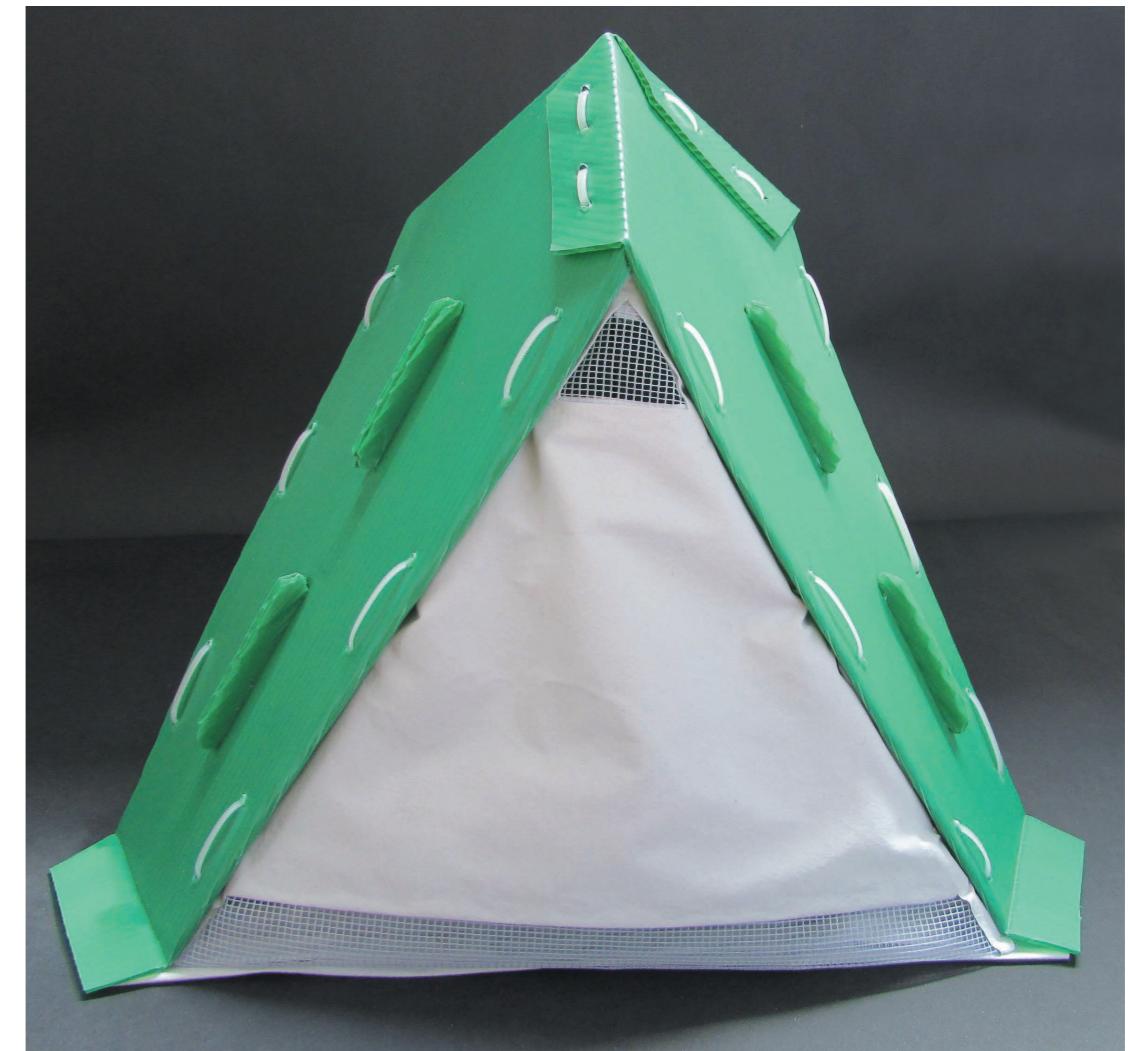
Peça de tecido para fechamento do modelo, com ilhoses para fixação na estrutura do abrigo.

Neste modelo, mantive as abas de fixação, que conferiram maior área de contato com o chão. Outra característica mantida, foram as aletas internas, unidas com abraçadeiras de nylon que auxiliaram o travamento da estrutura como um todo.

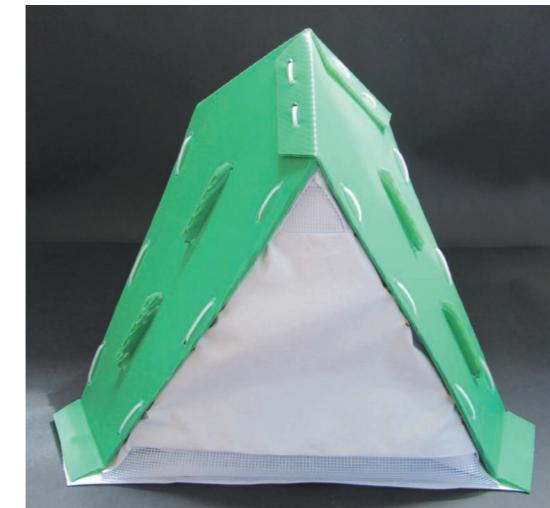
Alterei as dimensões das peças, para um resultado mais harmonioso, levando em conta também a fabricação.



Vista superior do modelo.



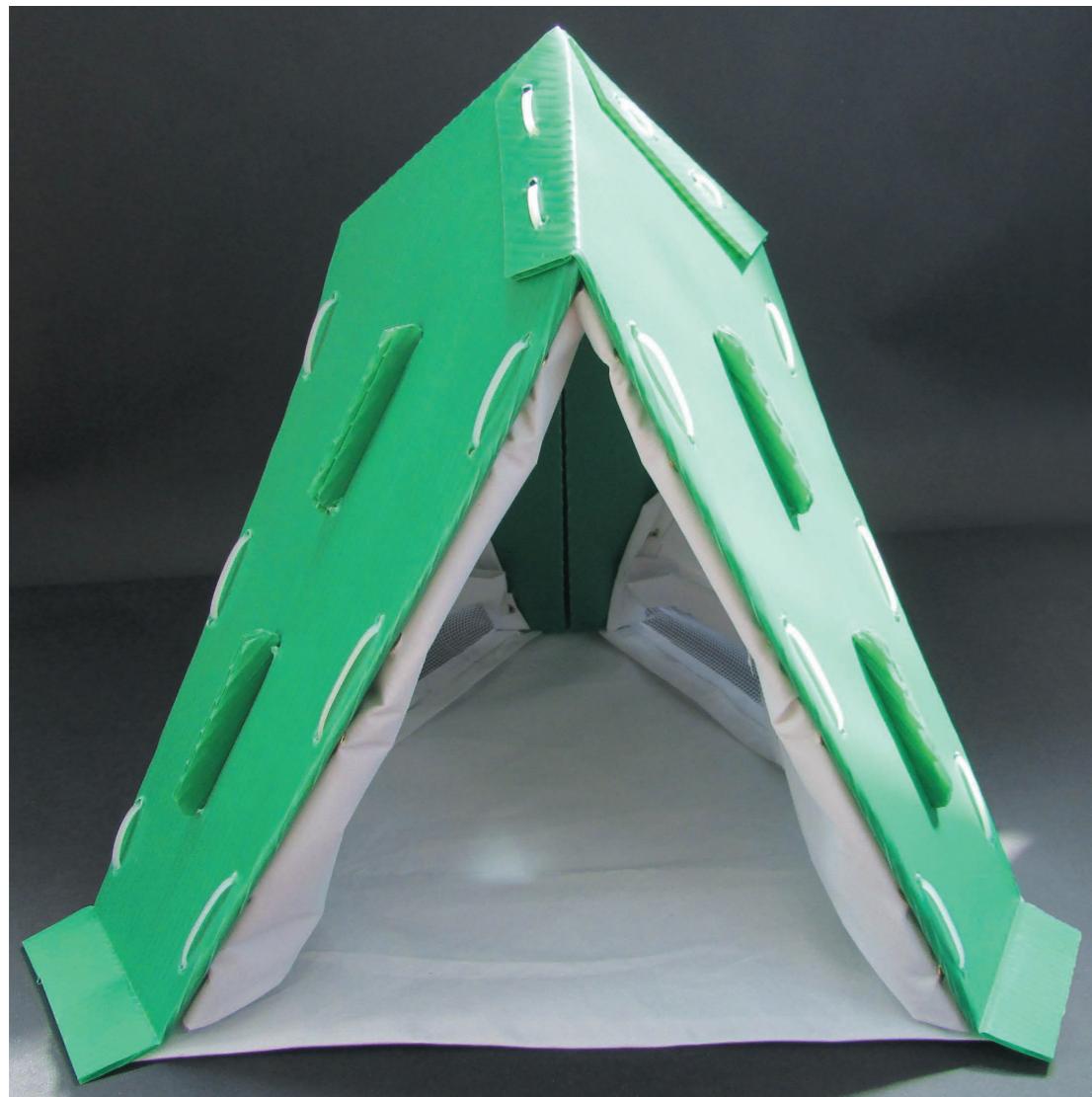
Modelo com o sistema de iluminação e ventilação aberto. Vista frontal.



Modelo com o sistema de iluminação e ventilação fechado. Vista frontal.

Materiais do abrigo

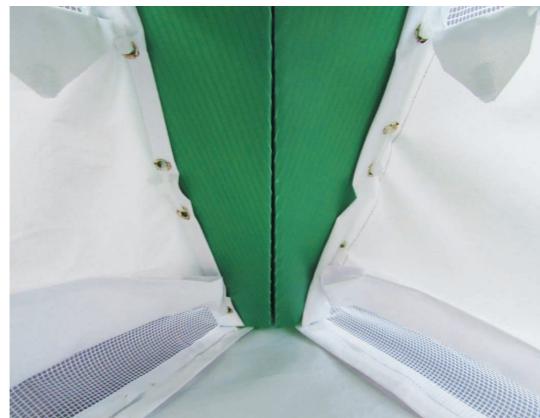
- Chapa polionda
- Abraçadeiras de nylon
- Tela em poliéster
- Poliéster com policloreto de vinila
- Ilhoses de metal
- Velcro



Abrigo aberto. Vista frontal.

Para a parte de tecido, pensei em um modelo que ficasse preso por dentro da estrutura, para não esconder as características da forma. Fiz três modelos diferentes. Um dividido em duas partes, unidas com velcro, sendo a porta do abrigo; outro em peça única, em dois lados, com tela nas partes inferior e superior, permitindo a circulação de ar e entrada de luz e o piso do abrigo, fixado com velcro.

Fixei as peças de tecido com abraçadeiras de nylon, passando por ilhoses previamente fixados no tecido. Dessa forma, garantindo que o abrigo possa ser desmontado e guardado e posteriormente montado de novo, assim como nas outras partes do abrigo, sendo dessa forma um abrigo reutilizável.

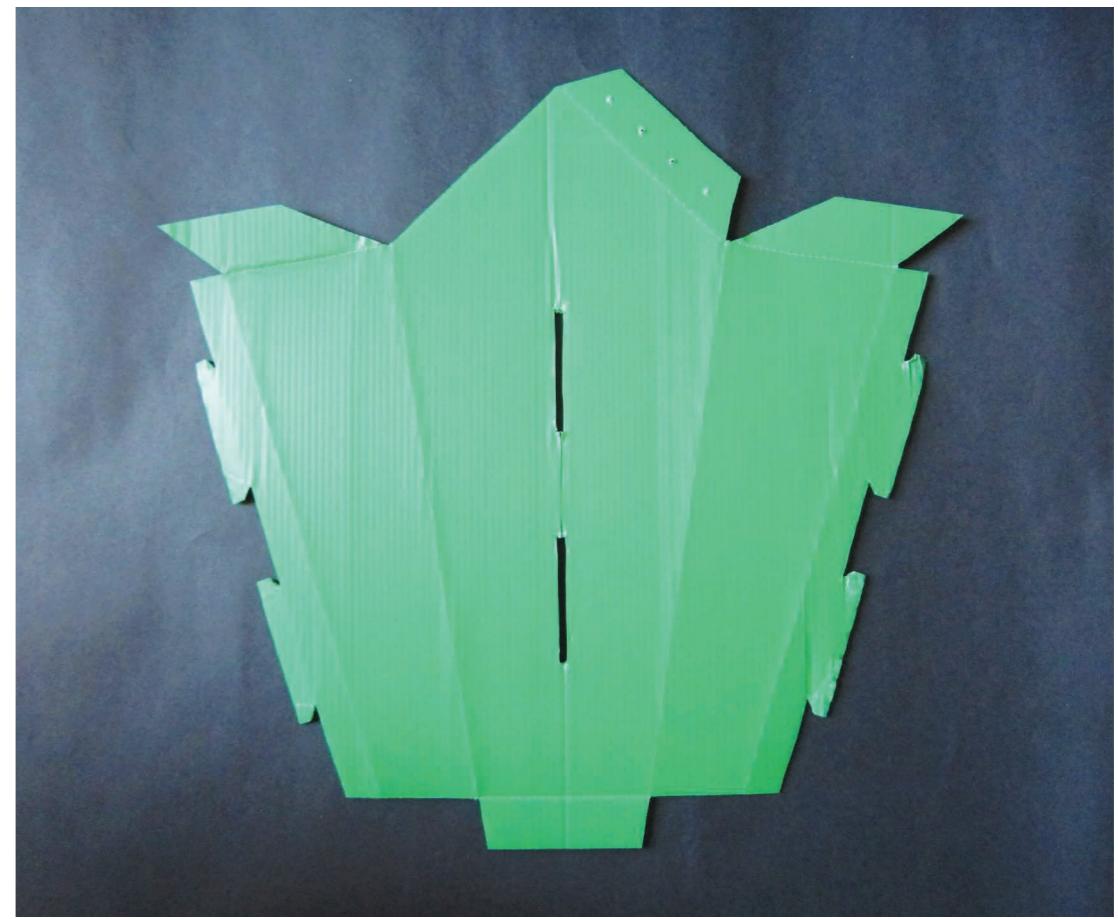


Vista interna do abrigo.



Vista interna da estrutura do abrigo.

Dessa forma, com o desenho deste abrigo, pude cumprir os requisitos que listei anteriormente. Após essa etapa, executei o modelo de abrigo duplo, capaz de abrigar quatro pessoas.



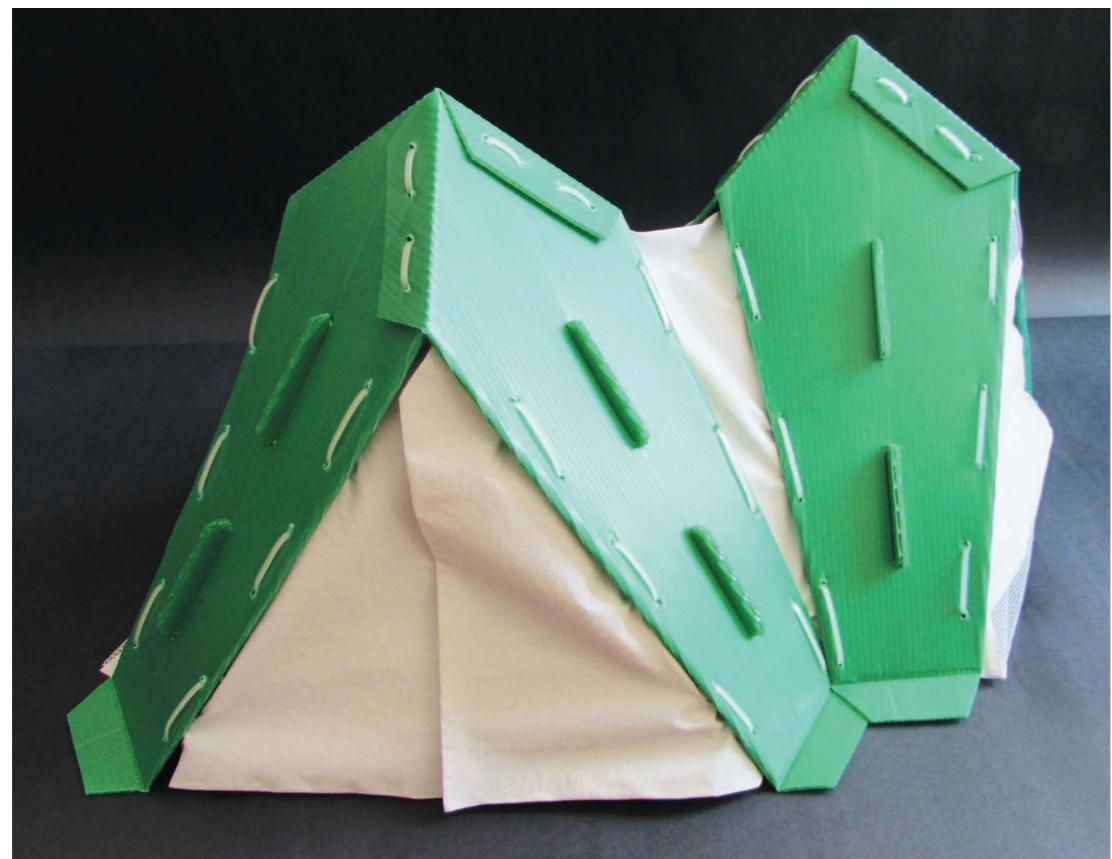
Planificação da peça estrutural do abrigo.

c) Modelo final duplo

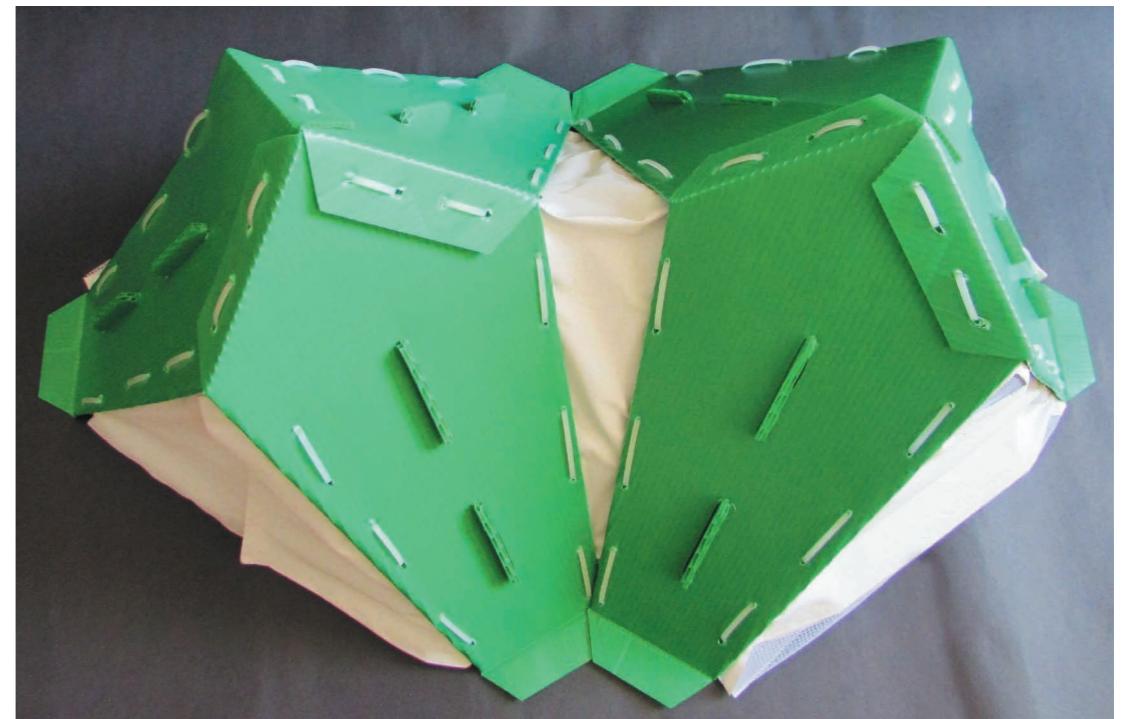
A fim de abrigar um número variado de pessoas, desenvolvi uma variação do modelo final, desta vez com duas unidades da estrutura, unidas em uma das laterais, formando um abrigo duplo, com capacidade para quatro pessoas.

Esta variação, possui construção similar à do modelo simples. São duas unidades da estrutura rígida, em plástico polionda, unidas por meio de uma peça específica de tecido. As outras partes de tecido, são as mesmas do modelo simples, sendo uma de entrada, três de fechamento e duas de piso.

Sua construção permanece fácil e sem necessidade de equipamentos. Esta variação comporta 4 pessoas, e o custo seria aproximadamente o dobro do outro modelo.



Modelo do abrigo duplo. Neste modelo, além das peças de tecido de entrada e fechamento, existe uma peça de junção, entre as duas estruturas rígidas. Vista frontal.



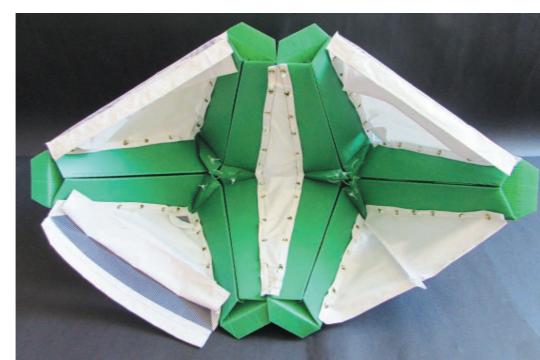
Vista superior do modelo do abrigo duplo.



Vista posterior do modelo duplo.



Detalhe da base da união entre as estruturas.



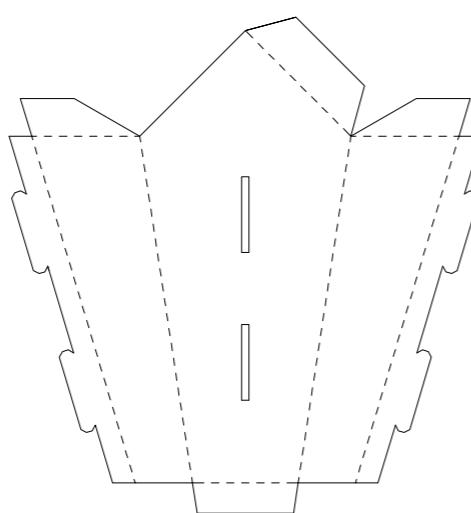
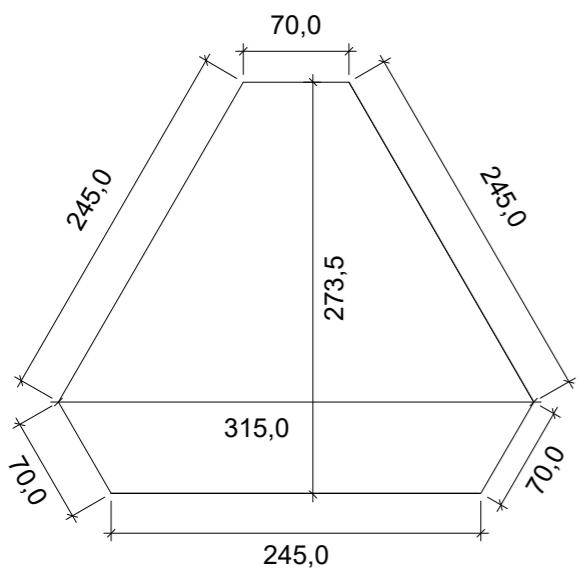
Vista interior do modelo duplo.



Detalhe da união entre as estruturas.

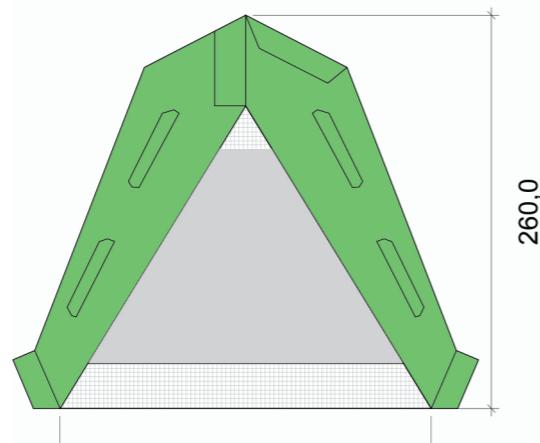
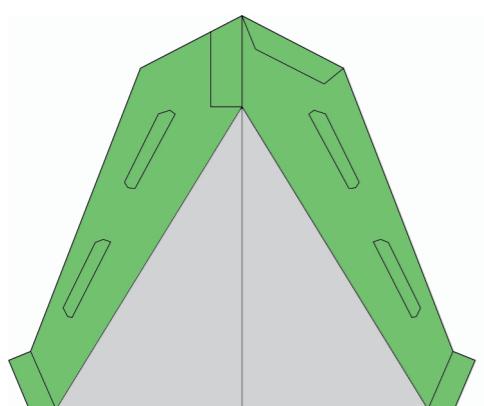
d) Especificações do abrigo

As peças foram pensadas para serem simples e de fácil montagem. Além disso, foram desenhadas para que o abrigo seja montável e desmontável, sendo possível reutilizá-los, tanto o simples como o duplo.



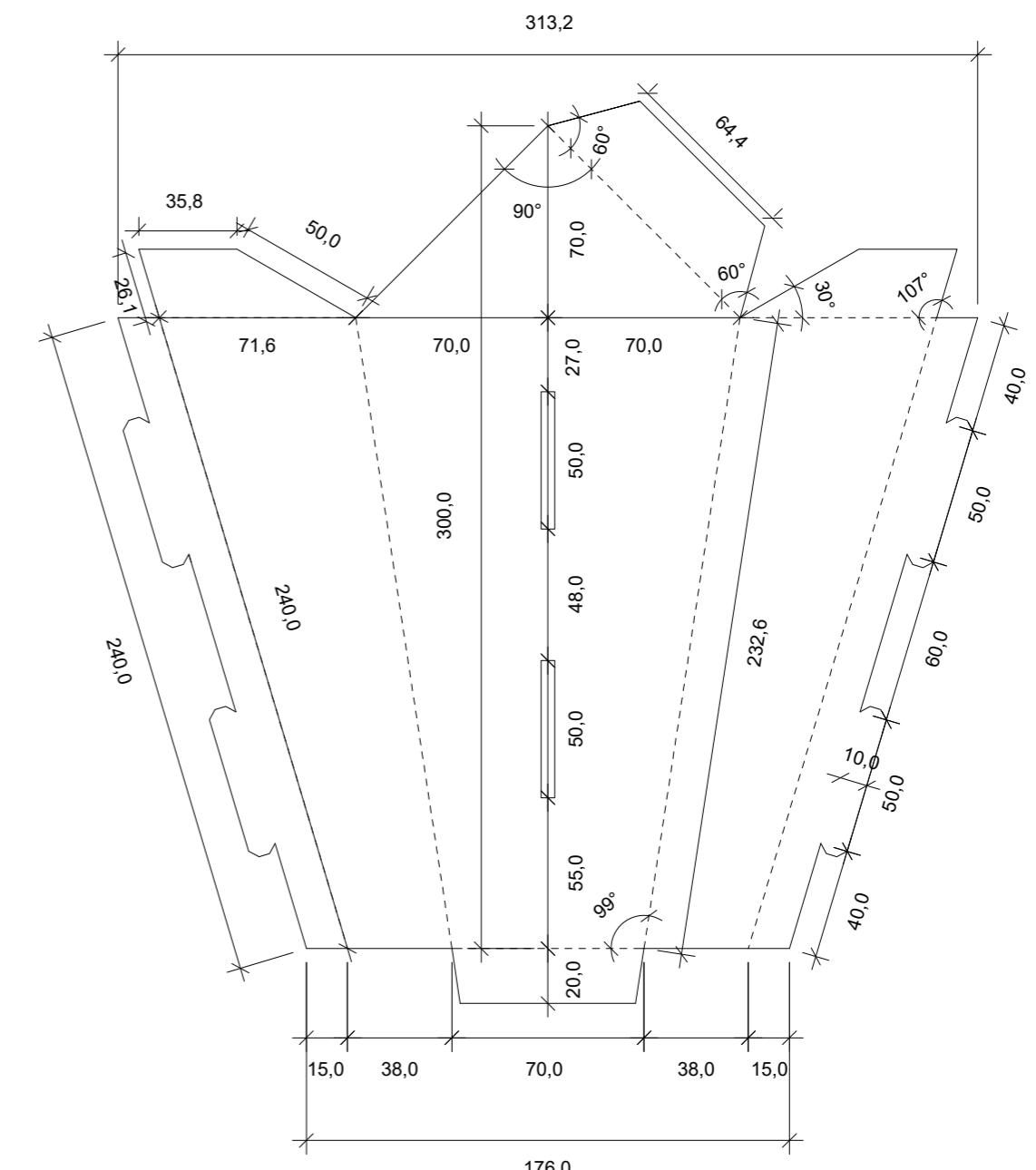
Planta do abrigo. Escala 1:50. Medidas em centímetros.

Planificação da peça. Escala 1:50.



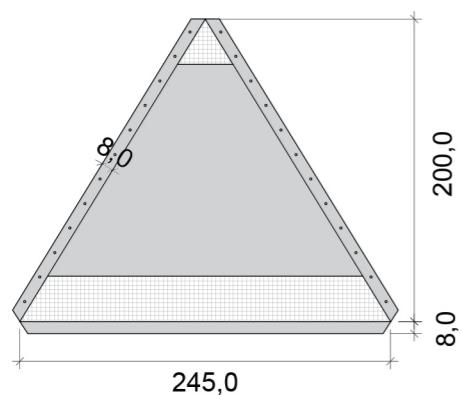
Elevação do abrigo simples. Vista da entrada. Escala 1:50.

Elevação do abrigo simples. Vista da lateral. Escala 1:50. Medidas em centímetros.

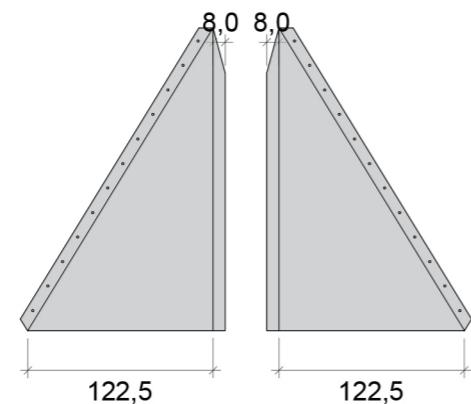


Planificação da peça. Escala 1:25. Medidas em centímetros.

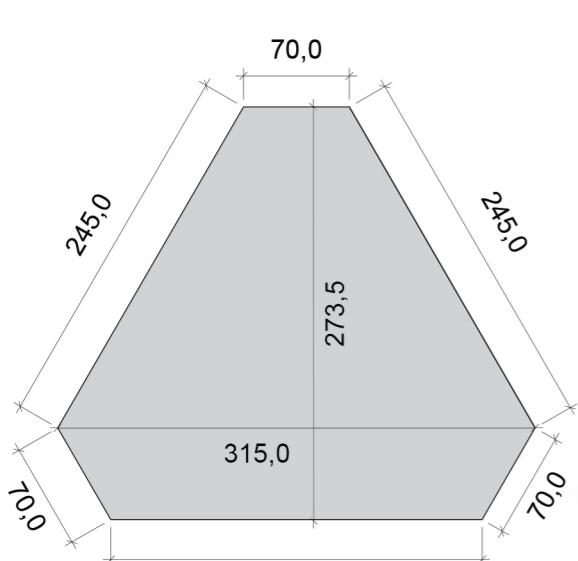
As placas de polionda, podem ser produzidas em tamanhos personalizados, permitindo a fabricação de grandes tamanhos, para serem cortadas no molde da peça, em escala industrial.



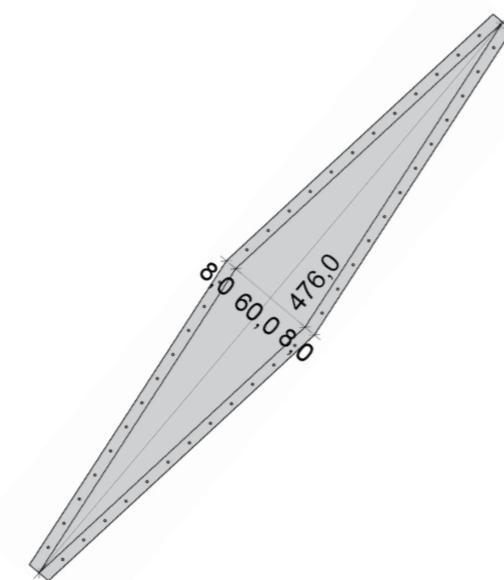
Fechamento do abrigo. Escala 1:50.
Medidas em centímetros.



Entrada do abrigo. Escala 1:50
Medidas em centímetros.



Piso do abrigo em tecido. Escala 1:50
Medidas em centímetros.



Junção do abrigo duplo. Escala 1:50
Medidas em centímetros.

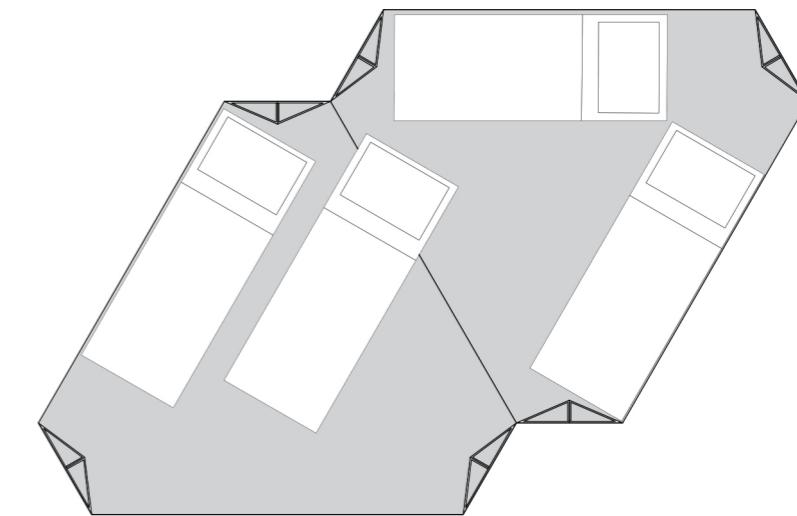
As peças de tecido, fazem o fechamento do abrigo. São ao todo 4 peças diferentes. O piso, a parede, a abertura e a peça que une as duas estruturas plásticas no abrigo duplo.

Na unidade simples existem duas peças de parede, uma de abertura e uma de piso. No modelo duplo, são três peças de parede, uma de abertura, uma de junção e duas de piso.

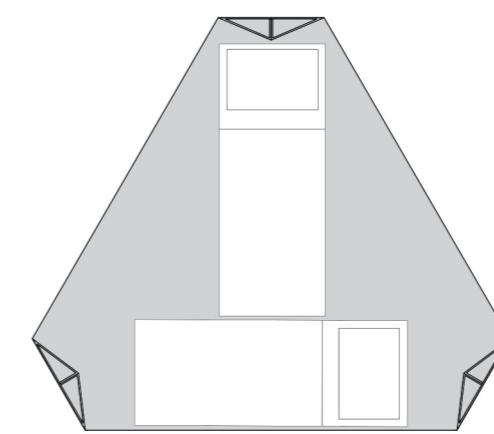
Também pensando nas duas unidades, simples e dupla, desenvolvi dois arranjos de mobiliário para os abrigos. Considerrei que o abrigo será utilizado basicamente para dormir, o que pede somente camas como mobiliário necessário. Assim, distribuí as camas pensando no melhor arranjo para a circulação dos ocupantes e do ar. Além disso, também pensei em áreas que ficassem desocupadas, para armazenamento de itens pessoais.

As camas utilizadas para o arranjo, foram as de acampamento, de fácil montagem e transporte. Além disso, possuem baixo custo.

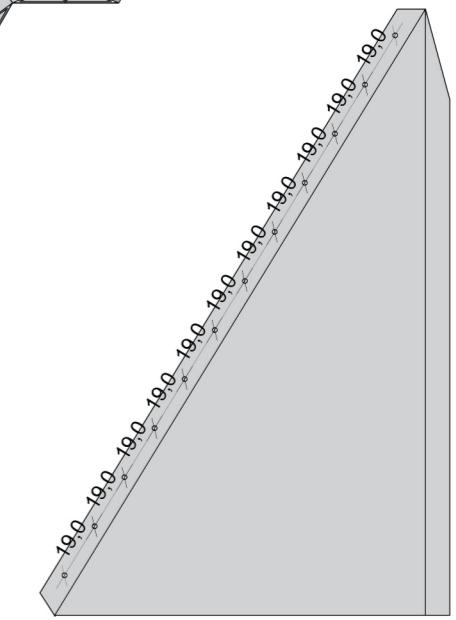
Nesses estudos, foi possível notar que a área interna é adequada para o número de pessoas indicado, junto a itens pessoais, considerando também movimentação e usos comuns de dormitório.



Planta do abrigo duplo. Escala 1:50



Planta do abrigo. Escala 1:50



Detalhe dos ilhoses. Escala 1:25. Medidas em centímetros.

e) Montagem do abrigo

Parte 01 - Estrutura de chapas polionda



1. Vincar as peças nos locais indicados.



2. Encaixar um dos lados nas aberturas centrais.



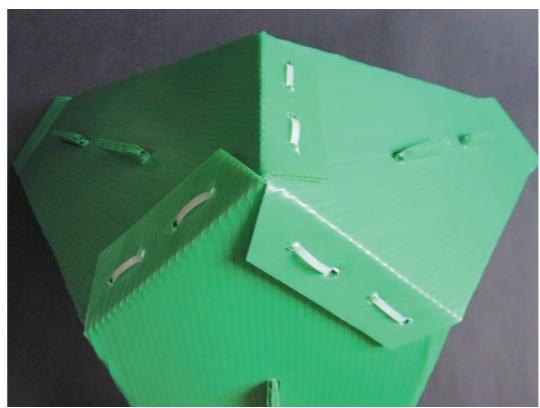
3. Encaixar o outro lado. Repetir nas outras peças.



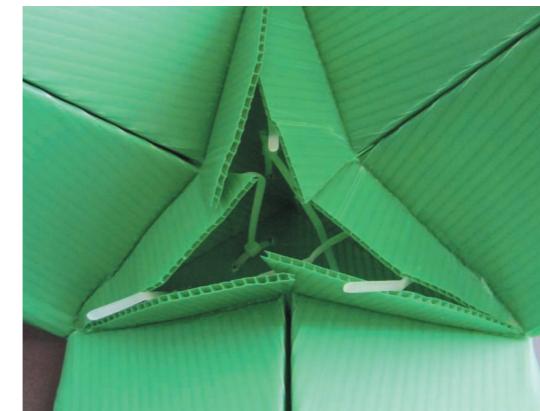
4. Dispor as peças com as abas em formato quadrado.



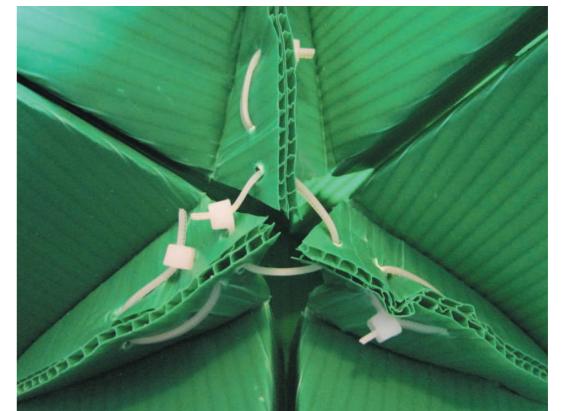
5. Prender as peças uma na outra com as abraçadeiras de nylon.



6. Virar o abrigo.

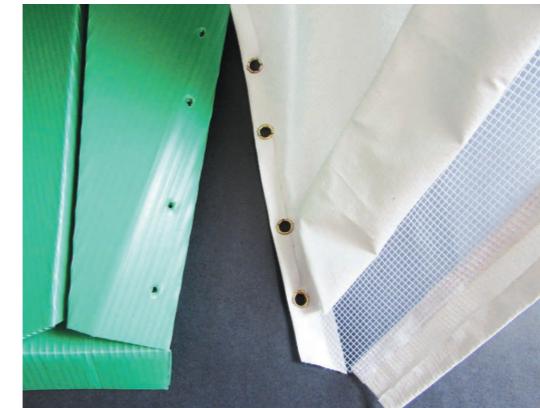


7. Preparar as abas internas para a fixação.



8. Fixar as abraçadeiras de nylon, sendo uma para cada duas abas e uma de forma circular, como um anel.

Parte 02 - Fixação do tecido



9. Alinhar os furos da peça plástica com os ilhoses da peça de tecido.



10. Passar as abraçadeiras de nylon, prendendo o tecido ao plástico.



11. Prender o outro lado.



12. Repetir os passos nos outros lados.

f) Transporte do abrigo

Para o transporte, o abrigo estaria desmontado. As peças de polionda, seriam transportadas já cortadas e furadas, as partes de tecido viriam também prontas, em kits com unidades suficientes para montar o número de abrigos simples e duplos necessários para a situação. Junto às peças, viriam as abraçadeiras de nylon, para a montagem.

Para o transporte, seria utilizado o caminhão VUC (veículo urbano de carga), de pequenas dimensões, tendo fácil acesso a regiões acidentadas. As peças plásticas, seriam transportadas semiabertas, diretamente no caminhão, enquanto as demais peças, em caixas.

g) Instalação do abrigo

Durante o desenvolvimento do trabalho, foi pensado nos locais de instalação para o abrigo. Após a execução dos modelos, fica claro que o abrigo poderia ser instalado tanto em ambientes fechados como abertos.

Por se tratar de um abrigo de dormitório, é necessário que seja instalado em locais com banheiros, como ginásios, escolas e campos de futebol.

Em ambientes abertos, para garantir o posicionamento, seria necessário utilizar as aletas da base, para fixação no chão com o uso de estacas.

Por conta do modo de fechamento do abrigo e sua vedação, acredito que a prioridade seja para a instalação em ambientes fechados, especialmente no ponto atual do desenvolvimento do trabalho. Para que seja instalado com eficiência em áreas abertas, seria necessário testar a vedação do abrigo como um todo e possivelmente fazer ajustes.



Abrigos no salão caramelô.



Abrigos em campo aberto.



06

CONSIDERAÇÕES
FINAIS

06. Considerações finais

A proposta do trabalho apresentado, foi desenvolver um estudo biomimético. O estudo foi constituído por três grandes etapas. Esta divisão foi importante, pois como trata-se de um trabalho experimental, a organização em partes orientou o que seria necessário ser feito em cada uma.

Durante cada etapa, pude compreender a extensão de um trabalho experimental de biomimética e quantos caminhos distintos poderia seguir. A exploração de potencial, o estudo e entendimento das formas naturais e como cada estrutura poderia ser traduzida em um projeto final. Isso fica evidente ao longo do trabalho apresentado neste caderno.

Na primeira etapa, de estudo das espécies, ao selecionar quais vegetais e animais seriam analisados, havia uma infinidade de opções para escolher. Quando estava observando as espécies selecionadas, também pude notar diversas características próprias e interessantes em cada uma delas.

Em seguida, na etapa de investigação morfológica, ao executar os modelos de reprodução, explorei o potencial das espécies, e entendi que existiam muitos caminhos que poderia seguir. Por isso foi necessário estabelecer um recorte mais específico para guiar a última etapa do trabalho.

Pude desenvolver o projeto final de um abrigo emergencial, inspirado na araucária excelsa, até a execução de um modelo em escala 1:10, que se mostrou de grande potencial construtivo, fácil montagem e reutilizável.

O projeto do abrigo excelsa poderia avançar mais em algumas questões, como acabamento e solução de impermeabilização. Outra questão, seria o cálculo detalhado do preço, somando materiais, produção e transporte. Os materiais são de baixo custo, mas para a produção real do abrigo seria necessário calcular exatamente o seu preço.

Vale lembrar que outras espécies foram estudadas, e possuíam potencial de tradução em projetos variados se houvesse mais tempo de trabalho. A escolha da araucária excelsa para o desenvolvimento do projeto final, foi feita por ter identificado nela o maior potencial para a execução de um projeto dentro do trabalho final de graduação.

Ao finalizar este trabalho, fica evidente o potencial de um estudo biomimético. É sempre possível aprofundar, explorar e entender mais o funcionamento das formas naturais a fim de aplicar esse funcionamento ao mundo construído, especificamente na arquitetura e design.



07

BIBLIOGRAFIA

07. Bibliografia

ANDERS, Gustavo C. *Abrigos temporários de caráter emergencial*. Tese de mestrado, São Paulo. Universidade de São Paulo, 2007.

ARRUDA, J. V Amilton. (org.) *Métodos e processos em biônica e biomimética. A revolução tecnológica pela natureza*. São Paulo. Blucher, 2018.

BARBOSA, Lara Leite. *Design sem fronteiras: A relação entre o Nomadismo e a sustentabilidade*. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo/ Fapesp, 2012.

BENYUS, Janine M. *Biomimética: inovação inspirada pela natureza*. São Paulo. Cultrix, 2007.

BONSIEPE, Gui. *Design, cultura e sociedade*. São Paulo. Blucher, 2011.

DOCZI, György. *O poder dos limites: harmonias e proporções na natureza, arte e arquitetura*. São Paulo. Mercuryo, 1990.

ELAM, Kimberly. *Geometria do design: estudos sobre proporção e composição*. São Paulo. Cosac Naify, 2010.

BOUCHERON, Patrick; GIORGIONE, Claudio (Org.). *Leonardo da Vinci: a Natureza e a invenção*. São Paulo. SESI SP, 2014.

LIDWELL, W.; Holden, K.; Butler, J. *Princípios universais do design*. Porto Alegre. Bookman, 2010.

MUNARI, Bruno. *Das coisas nascem coisas*. São Paulo. Martins Fontes, 2008.

PAPANEK, Victor J. *Design for the real world: human ecology and social change*. Chicago, Academy Chicago, 2009.

RIBEIRO, Carlos Eduardo Dias. *A natureza no processo de design e no desenvolvimento do projeto*. São Paulo. SESI SP, 2014.

WAKE, Warren. *Design paradigms: A source for creative visualization*. New York. John Wiley and Sons, 2000.

