



Andrea Cito Marinho

**Abrigo desmontável para emergências
ambientais utilizando painel-sanduiche de
Bambu**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio (Opção: Profissional).

Orientador: Prof. Rafael Soares Gonçalves
Co-Orientador: Prof. Khosrow Ghavami

Rio de Janeiro
Abril de 2013



Andrea Cito Marinho

**Abrigo desmontável para emergências ambientais
utilizando painel-sanduiche de Bambu**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Rafael Soares Gonçalves

Presidente / Orientador
Departamento de Serviço Social - PUC-Rio

Prof. Khosrow Ghavami

Co-Orientador
Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Prof. Celso Romanel

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Prof. Luís Eustáquio Moreira

UFMG

Prof. Conrado de S. Rodrigues

CFTMG

Prof. Romildo D. Toledo Filho

UFRJ

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial de Pós-Graduação
do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 15 de abril de 2013

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, da autora e do orientador.

Andréa Cito Marinho

Graduou-se em Arquitetura e Urbanismo na Universidade Santa Úrsula em 1983. Cursou Análise de Sistemas na CCE-PUC-Rio em 1988, Engenharia Legal e de Avaliações na UFF em 1996. Pós-Graduada em Análise e Avaliação Ambiental pela PUC-Rio em 1998. Foi consultora do IME-RJ nas áreas ambiental e de arquitetura. Trabalhou como analista de sistemas na Dataprev. É sócia-diretora da Viewpoint Arquitetura e responsável por projetos, construções, consultoria ambiental e avaliações de imóveis urbanos para clientes como CEF, Castrol, Rexxam, Casa de Rui Barbosa, entre outros.

Ficha Catalográfica

Marinho, Andréa Cito

Abrigo desmontável para emergências ambientais e desenvolvimento de painel-sanduíche utilizando bambu / Andréa Cito Marinho ; orientador: Khosrow Ghavami ; co-orientador: Rafael Soares Gonçalves. – 2013.

184 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2013.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Painéis-sanduíche. 3. Bambu. 4. Tetrapak. 5. Resina de mamona. 6. Desastres ambientais. 7. Desenvolvimento sustentável. I. Ghavami, Khosrow. II. Gonçalves, Rafael Soares. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. VI. Título.

CDD: 624

Dedico este trabalho ao meu pai, Renato Cito,
Engenheiro Civil, que me ensinou a achar a vida bela e
a aprender sempre,

E, à minha mãe, Glycia, que com sua vitalidade
contagante me ensina como nunca desanimar,

Ao meu marido João, pelo carinho, sabedoria e
companheirismo, que me fizeram chegar ao final deste
trabalho,

Aos meus filhos queridos, que me entendem, me dão
força, e são a razão de toda a minha vida.

Agradecimentos

Aos meus orientadores Prof. Ghavami e Prof. Rafael Gonçalves por todo o apoio e pelas muitas horas dedicadas,

À Viewpoint Arquitetura e Consultoria Ltda. que patrocinou meu curso de Mestrado e financiou toda a pesquisa,

À minha família por todo o apoio, carinho, dedicação e parceria,

Aos colegas Lorena Chamurro, João Krause, André Pinto, e Diego que me ajudaram a caminhar,

Aos funcionários dos Laboratórios da PUC, LEM e ITUC,

À Paula Enoy, do Departamento de Engenharia Civil, super prestativa, sempre pronta para ajudar,

Aos colegas de turma do mestrado,

À coordenação do curso pelo apoio para a realização dos ensaios, especialmente ao Professor Celso Romanel pela ajuda e esclarecimentos técnicos, à Comissão Examinadora e a todos os professores, brasileiros e alemães pelos ensinamentos transmitidos.

Resumo

Marinho, Andréa Cito; Soares, Rafael Gonçalves (Orientador); Ghavami, Khosrow (Co-Orientador). **Abrigo desmontável para emergências ambientais utilizando painel-sanduiche de Bambu.** Rio de Janeiro, 2013, 184p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

As três medidas de sobrevivência logo após a ocorrência de desastres ambientais, de acordo com a Cruz Vermelha Internacional, são: o fornecimento de alimentos, medicação e abrigo. O objetivo deste trabalho é propor uma solução sustentável para atender às famílias desabrigadas em desastres ambientais, imediatamente. Para viabilizar o provimento de abrigo num curto espaço de tempo foi desenvolvido um painel de bambu, tipo sanduíche, utilizando-se uma composição de materiais naturais como: bambu e óleo de mamona, e placas de resíduos reciclados, que não são poluentes, têm baixo custo e baixo consumo de energia. Para a montagem dos painéis foram utilizadas placas recicladas nas faces e o núcleo de bambu em estrutura alveolar que é fixado às placas através de adesivo de poliuretano vegetal, à base de óleo de mamona. O comportamento mecânico do painel sanduíche de bambu desenvolvido neste trabalho foi analisado para aplicação em edificações. Este é um estudo pioneiro, não foram encontradas referências no Brasil nem no exterior, nem estudos semelhantes. O resultado deste estudo é um abrigo modular, em que o módulo proposto é o núcleo de uma habitação que poderá ser expandida e se tornar definitiva. O abrigo é também desmontável podendo ser recolhido e transportado para outros lugares onde haja necessidade.

Palavras-chave

Abrigos emergenciais; painéis-sanduiche; bambu; tetrapak; resina de mamona; desastres ambientais; desenvolvimento sustentável.

Extended Abstract

Marinho, Andréa Cito; Soares, Rafael Gonçalves (Advisor); Ghavami, Khosrow (Co-Advisor). **Deployable sheltering design to post-disaster emergencies and development of sustainable sandwich panels using Bamboo**. Rio de Janeiro, 2013, 184p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The International Red Cross listed the three relief priorities in Environmental Disasters: food, medicine and shelter. Providing shelter allows quickly returning to normal life, and keeps families connected. Furthermore establishing the routine stimulates the reconstruction of affected areas. This work presents a quick solution aligned to concepts of sustainability, green building and waste recycling, to catch up affected families needs on environmental disasters events. In order to provide shelter in a very short time, a sandwich panel composed of a bamboo honeycomb core was developed, in a new approach of bamboo utilization, and recycled material panels glued with castor oil resin. The material used are natural and non pollutant, recycled, low-carbon, low-cost housing and low energy consumption. A sandwich panel was developed and its mechanical behavior analyzed for building applications. The main objective of this work was developing a resistant material, ecologic, sustainable, using residues, and local, ingenious and natural materials, that must be strong enough to substitute conventional materials and, at the same time economically feasible, to address emergency sheltering. As a result, a modular shelter is proposed, in which the minimum module is like a core house nevertheless it can be expanded turn in a permanent home. The shelter is also portable as it can be collected and transferred to other places, wherever needed.

Introduction

In recent times the world have been witnessing overwhelming natural disasters caused by floods, inundations, earthquakes, tsunamis, typhoons, hurricanes, landslides, volcanic eruptions, cyclones, as the runoff that occurred in

2011, at Rio de Janeiro mountain range. This tragedy left a trail of destruction, human and material losses, and was considered our greatest natural disaster since 1967, with about 918 people killed, over 300 people missing and about 30 thousand homelessness. (Rio de Janeiro Civil Defense, 2011). All over the world, thousands of people become homeless overnight. Governments and Humanitarian Entities are used to providing shelters that become definitive at the end. The reconstruction process is frequently slow, especially in poor countries, where often makeshift tents become housing for long periods of time. In Pisco, Peru, five years after the 2007 earthquake there were 180,000 homeless living precariously. (Direito.org, 2012) In Port-Au-Prince, Haiti, two and a half years after the tragedy of 2010, there were 78,175 homeless people living in makeshift shacks on former landfill. (Oxfam GB, 2012). And, even in rich countries, like Japan, the earthquake and tsunami in Fukushima, March 2011, two years later it still accounts for 21 000 people with relatives or shelters. (UN (OCHA), 2013 apud Exame Magazine). Besides, in Brazil happened the same way, two years after the flood of 2011 that hit the mountainous region of Rio de Janeiro, none of the six thousand houses promised by the government was built and 8311 families are still receiving rent assistance (State Department of Social Services, 2013).

"Developing countries suffer the worst impacts, for example, among 262 million people affected by climate disasters annually from 2000 to 2004, over 98 percent live in developing countries"(United Nations Development Programme, 2008:8). Poverty Reduction Strategy Papers (PRSPs) - United Nations Program for Environment (UNEP).

While governments provide the infrastructure works and negotiate land for the construction of new houses, it is essential that construction researchers create solutions that meet these needs to provide decent housing during this long standby time. Even though natural disasters have been happening frequently since ancient times, modern society way of life with its industries, carbon dioxide emissions and waste production have been contributing to increase these events. In the other hand, as the accelerated growth of world population and the number of people living in urban areas is expected to increase, more people will lost their lives, damages will be more devastating, and more houses will be destroyed, especially those built over unstable areas, most of them occupied by poor people. Furthermore, the materials frequently used for city buildings and infrastructure are

pollutant in most cases, either at the manufacturing process and in the construction itself, besides, urban areas absorbing and releasing heat during the night contribute to increase the temperature and cause a negative effect, mostly known as Urban Heat Islands.

State-of-art

Government Institutions, NGOs and Humanitarian Entities coordinate the provision of shelters worldwide after environmental disasters. At the beginning, people rescued are housed in public buildings, gymnasiums, schools, religious temples and houses of relatives and friends. After the first day people are relocated and accommodated in temporary tents until they get teams to organize and assist in the reconstruction of the affected areas (UNDRO - United Nations Disaster Relief Organization). Tents are practical, easy to store, easy to carry and easy to assemble. In the other hand, are also, inadequate in winter, small, can not be expanded, deteriorate rapidly, have high cost when added to shipping costs. Many times sub-occupation takes place, because they are far from the family estate. Imported Units are suitable for extreme climates, like severe winters, sometimes are better than the previous housing and are ready to inhabit. However, needs plenty of room to carry, costs are high, needs specialized know-how to assemble, there are not availability of material, do not connect in increments. They can overcome the pattern of the previous life, creating a risk of setting people at shelter, configuring new permanent settlement and new slums. Using local materials and the technique of construction-site brings minimal intervention, but creates external independence, at the same time encourages collaboration and socialization. The problems faced with the use of this technique are the long time of construction, only a small portion benefited, sketchy technology, precarious buildings, high cost on transferring technology. Quite often the cost of qualified personnel to provide technical assistance and transferring knowledge is very high and may exceed the cost of ready-made solutions. Temporary housing provides shelter for only a few months, replaces permanent housing, and gives dignity while waiting reconstruction, can also provide mass production and low cost. They can become permanent, only a small portion benefited, use rudimentary technology, produce substandard buildings, and can not be reused.

"On occasions where the reconstruction of housing exceeds six months, the temporary shelter housing becomes more permanent than temporary." (Barbosa, 2011)

The distribution of materials uses homelessness manpower, encourages consumption, leverages the local market and is low cost, besides promoting socialization. But can become permanent and emphasizes the demand for materials triggering run out of materials and leaiongs to skyrocketing price. Has also rudimentary technology resulting in precarious building, unhealthy housing. Materials distribution without technical support results in unsanitary dwellings and affects residents' health. Core Housing is a minimal cell to be increased or be disassembled and be taken to another place, can also become permanent, as it can be located in own land. Alternatively has the necessity to remove debris and immediate cost is greater than tents. The shelter proposed in this work fits into this category.

Technical guidelines

ONU - The Handbook for Emergencies (UNHCR 2007), Humanitarian Charter and Minimum Standards in Disaster Response (Sphere Project 2004), IASC Emergency Shelter Cluster publication, Shelter Projects (2008)

The recommended size shelter ideal is based on 3.5 m² per person. According to Sphere 2004 - Shelter and Settlement, Standard 3, a covered area of 3.5 m² per person may be appropriate to save lives and to provide adequate shelter for short term, immediately after a disaster, especially in extreme weather conditions. In such cases, where shelter materials are not readily available, the longer it takes to arrive the well-being and health of those affected can be compromised. Some shelters have already been implemented with various sizes, ranging from 9 m² to 74 m², resulting in different needs, continuity, logistics budgets, restrictions, reception standards and official policies. Materials such as wood and bamboo composite panels made of wood or bamboo, are frequently used in projects of shelters, due to the ease of using local construction techniques, availability, lightweight transportation, easy construction, suitability for use in modular structures, and to be reused, resold or recycled later on.

Portability and mobility

The temporary shelter should be designed in order to be relocated whenever necessary. So it should be easy to dismantle and move to the beneficiary's land once they return. The project should include a durable solution that can be extended later. Improvements can also be incorporated by occupants after transferring to a definitive place and turn it into permanent housing. (Shelter Transitional Guidelines, p.12). According to Kronenburg (2003), Schools of Architecture has always taught that the buildings should be static, stationary and without movement, stopped in time and space, but portability has been an appropriate solution to solve emergency problems immediately. "Portable Architecture" means disassembling parts or structural units, carrying and reassembling elsewhere. Historically dismantled architecture is an appropriate solution for emergency housing. For thousands of years, man has brought with him his nomadic dwelling, made of animal skins, mats or fabrics, which was built quickly and easy to disassemble. Recently, were found in Africa, Asia and the Americas, reminiscent huts of ancient people, their log structure spans could win up to ten meters, weighting approximately 5 kgf/m^2 , i.e. much lighter than the minimum of 8 kgf/m^2 metal structures existing nowadays. (Khan, 1993)

Sustainable development - bamboo sandwich panel

The Brundtland Commission's report defined sustainable development as *"development which meets the needs of current generations without compromising the ability of future generations to meet their own needs"* (Our Common Future, UN, 1987). These days, for an activity to be considered sustainable should include three sectors: environmental, economic and social, referred to as Triple Bottom Line (TBL). Conventional construction materials such as cement, sand, stone and clay, besides not being renewable and contributing to the run out of planet's natural resources, they are also responsible for converting cities into urban heat islands in fact. It is estimated that construction consumes between 20% and 50% of the total resources used by society currently (Sjostrom, 1992). Romans had discovered the *pozzolana* for over 2000 years, concrete was developed from this technique, and till these days it has been adopted as the best way to build. In

Brazil, particularly, the use of materials such as clay bricks and reinforced concrete is widespread, and it is a construction default. The shelter proposed in this work consists of sandwich panels composed of natural renewable materials, like bamboo and castor oil, and industrial waste as recycled plates. Therefore, fits into the reported Agenda 21, items 3 and 4, “*Sustainable consumption and goods production*” and “*Conservation and management of natural resources*” and is in accordance to the economic, environmental and social guidelines for sustainable development.

Materials selected

Bamboo was chosen due to its great advantages. There are more than 1500 botanical species, needs three to six years for harvesting and grows well in equatorial forests. Using internally, without contact with moisture it can last 230-250 years, as the bamboo walls found in La Unión and Cartago, Valle del Cauca, Colombia. Beyond the main disadvantages are the incipient supply chain (Brazil), its cylindrical shape, nonlinearity culms, dimensional variations, difficulties with sockets and connections, in general uses handmade construction, needs rain and moisture protection. The species, *Phyllostachys aurea* was selected because its weight and diameter are appropriate to the panel dimensions, besides having a great resistance to woodworm. It is rarely attacked by insects and can be easily found in Brazil- Southeast and South regions which have the highest supply of treated sticks plantations.

Recycled Plates are flexible when used individually and are therefore underutilized in secondary applications such as: sidings, linings, pallets, for protecting floors, and wall coverings. Among its main advantages are: the resistance to moisture, resistance to sunlight, 100% recycled and recyclable, resistance to chemicals in general, self-extinguishing, does not propagate flames, easy attachment, do not crack under the penetration of nails and bolts, thermo-acoustic insulation, compatibility with plaster, mortar and texture, acceptability of acrylic paint, latex, synthetic varnish, among others, accepts contact glues and adhesives in general. Recycling milk packages is a process that reintegrates composed materials to the production chain. A long-life packaging comprises six

layers of three materials: paper (75%), low density polyethylene (20%) and aluminum (5%).

The adhesive chosen, was a vegetal polyurethane based resin, from castor oil source. Adhesive systems have replaced mechanical fixation systems, including applications of industrial interest, due to the advantages related to the performance of adhesive joints associated with factors of productivity and low cost (Silva, Shana. A, et al, 2007). Castor oil based adhesive offers no health hazard and is therefore also used in the medical field as a biomaterial to repair bone loss shortcomings and the production of implants for reconstruction on jaws and skulls. (Ferneda, 2006) Some previous studies have produced positive results in tests even when compared with other commercial adhesives (Buaszczyk et. al., 2006).

Bamboo sandwich panel

Sandwich structures have been widely used in aerospace, automotive, civil and military industries. Alveolar design combines high strength resistance and lightweight, resulting in a very efficient structure. According to (Gagliardo&Mascia, 2010), sandwich structures projects have been designed and adopted due to its resistance, durability and lightweight. Natural and recycled materials were selected to build the panel in order to avoid carbon emissions and have low energy consumption. The panels can be used as a slab, wall, and ceiling among other applications. It provides high resistance to distributed loads, ability to support large spans, humidity and weather resistance, thermal and acoustic insulation, high impact resistance and excellent fire resistance. This work is part of emergency housing solution development for post disaster homeless using low energy materials. Acknowledged researchers worldwide prescribe the use of the sustainability principles in construction to mitigate the impacts of this large industry, by reducing residues, using renewable energy and materials. The modular construction process made up with prefabricated panels is in accordance with these principles and, besides speeding up the runtime of building construction, generates almost no residues, losses and debris, there is no use of water or non-renewable resources such as stone, sand and clay. This research takes into consideration the advantages of alveolar panels and modular panels'

production. Several initiatives on using bamboo panels have been studied, however it has always been used in its longitudinal direction, with entire culms or laminated. Highlighting that bamboo is an organic material, and therefore, the lack of diameter standardization and irregularity in nodes region makes it difficult to apply as a core in a multi-layer sandwich panel. Using bamboo in the longitudinal shape makes it impossible to standardize the thickness of the panel and to bond the outer layers due to lack of uniformity of bamboo surface (nodes). Looking for overcoming this limitation and getting a uniform thickness, either thicker or thinner, according to the purpose of the panel, bamboo culms were used in cross section, cut into slices with identical thickness, previously defined, to be used as the sandwich panel core. The system is basically a sandwich panel structure with multiple layers, and the core composed of bamboo, forming an alveolar configuration, as a honeycomb, bonded between two recycled plates. The sandwich structure is rectangular, with irregular surface, which has specific characteristics, such as acoustic, vibration, thermal, and mechanical strength. It is a panel of multilayer structure, called sandwich panel, with two layers of recycled material plates (tetrapak, basically composed of milk packages, among others), linked by a core of bamboo slices with the same thickness. These two plates are linked to the core by an adhesive. The core is composed by a disordered bamboo network, in which bamboo slices are bonded by contact with plates surface impregnated with adhesive. This structure connected to the two plates when the entire block is glued. The panel consists of a double wall and a sliced bamboo core that provides a vibration damping, reduction of noise pollution, and also a thermal screen function.

Experimental procedures

Results about industrial materials properties were obtained from the manufacturers, whilst, to know the behavior of bamboo sandwich panel created, some tests were performed. ASTM Standard C393-00: standard test method for flexural properties of sandwich constructions (recommended for sandwich panels and similar materials) was applied standard for flexural tests. Other tests (compression and shear) were performed but the results were inconclusive. The panels were tested by applying the load in the mid-span along the specimen width,

with 0,40m distance between supports. An excessive deformation on the bamboo sandwich panel was observed and cracking characterized by small failures between the adhesive contact and the plate surface. The test was discontinued due to deformation and adhesive crack. The average flexural strength was 2.38 MPa among the specimens tested.

The shelter project

The emergency shelter design was based on guidelines and manuals published by International Entities: UN-Habitat, Shelter Projects, Humanitarian Charter and Minimum Standards in Disaster Response, Sphere Project, and International Council for Research and Innovation in Building and Construction, among others. The emergency shelter was designed for a family of up to five people, with an area equal to 24,20 m². United Nations guidelines calculate 3,50 m² per person, and 18,00 m² the minimum acceptable for five people. The module consists of bathroom and kitchen in the central module, living room and bedroom on the sides, which can be connected to other modules for expansion. The assembly of shelter parts is made by a method known as kits-of-parts. The floor structure is set, then the pillars, panels, ceiling and then the roof to finish. The shelter was designed to be completely dismantled. It was divided packages for easy transport according to the containers and trucks dimensions.

Conclusion

Throughout this work, a new construction material was developed using bamboo cut cross wide, in slices, as the honeycomb core in a sandwich panel. There were no references to studies similar to this, as it is, therefore, a pioneer study in Brazil and abroad. The development of this research is intended to replace conventional walls by bamboo sandwich panels made from recycled and sustainable materials. Important aspects for emergency shelters development were considered, so as kit-of-parts technique, low-cost material, dry construction, renewable resources, quick-assembly and reduced amount of energy for materials and panels production, in addition speeding up construction time. As happened in the past, by 1920's and 1930's, when new materials and techniques brought

enormous changes in construction methods (Kronenburg, 1995), this research aims to design a portable and small shelter by assembling prefabricated panels and units, similar to an automobile assembly line. The portable emergency shelter and the bamboo sandwich panel presented have achieved this work proposal. The proposal of developing a core shelter prefabricated which is a prototype, quickly assembled with easy skills, collapsible, lightweight, using sustainable materials, low energy consumption, taking advantage of local materials, modular designed to facilitate expansion with the possibility of being increased and become permanent with the addition of new modules, or instead, being removed to be used elsewhere, is possible with the design shown and the bamboo sandwich panel developed. Given the environmental performance required by the project and the requirements of sustainability, were used recycled materials, renewable, low energy content, non-toxic, and also easily found in the market and produced in Brazil. The Emergency Shelter presented in this study met the guidelines for sustainable construction issued by CIB (1999) International Council for Research and Innovation in Building and Construction, The Netherlands (1999) in all issues, both the material used as the design and constructive method: uses renewable materials, recyclable/reusable, is easy assemble/disassemble, has patterned dimensions, low energy content, uses non-toxic materials. The Agenda 21 requirements for Sustainable Consumption and Production, and Natural Resources Conservation and Management have been completely attended in the following items: water economy in construction, high availability of natural resources, high ability of renovation in used resources, low power embedded in the life cycle, low energy consumption/m² built and components production, low emission of pollutants in indoor air, no emission of CO₂ and other greenhouse gases in the production, non-use of toxic and heavy metals, no use of toxic substances, water economy in production (partially achieved, due to the water use in the material production), distance traveled (depends on each case), transport emissions (depends on each case). The emergency shelter developed covers the requirements for temporary shelters, according to the Definition of Temporary Shelter (Transitional Shelter Guidelines, p.12), the temporary shelter should be able to: be relocated to another place, easily dismantled, easy to transport to beneficiary household and be durable to be expanded incorporate improvements, become permanent housing. At the end of this study, it is found that the main

objective of this research was achieved, with prefabricated shelters for emergency situations in environmental disasters, composed by bamboo sandwich panels, designed to enable the rapid assembly and disassembly of shelters. The emergency shelter developed can be used to meet the immediate needs of displaced people or homeless, which may affect between 25 million to a billion people in environmental disasters, according to the report released in May, 2012, by the High Commissioner United Nations for Refugees (UNHCR), a UN specialized agency, as a result of climate change expected for the next 40 years. The emergency shelter developed in this study is also completely suitable for any need of housing, whether permanent or transitory.

Keywords

Emergency shelter; sandwich panel; bamboo; castor oil; tetrapak; natural disasters; sustainability.

Sumário

1 Introdução	32
1.1. Objetivos	34
1.2. Panorama geral dos desastres ambientais	34
1.2.1. Desenvolvimento da pesquisa	41
2 Revisão Bibliográfica	43
2.1. Histórico da habitação humana e a evolução da construção com os materiais disponíveis	43
2.2. Histórico da habitação humana	44
a) Primeiros abrigos artificiais	44
b) Primeiras moradias fixas - período neolítico	45
c) Primeiras moradias temporárias - Ártico	46
d) Tendias nômades do Saara – Os beduínos	47
e) Tendias nômades da América – teepes ou tipis	49
f) Tendias nômades da Escandinávia - lavvu	50
g) Tendias tuaregs de esteiras e fibras - Saara	51
h) Tendias nômades yurts – Mongólia, Turquia, Sibéria	51
i) Abrigo artesanal de junco trançado - Mesopotâmia	53
j) Abrigo artesanal de palha - Peru	54
k) Abrigo artesanal de terra – Camarões, Chad, Gana	54
l) Abrigo temporário artesanal de junco – Sudão	55
m) Telhados artesanais portáteis de folhas de palmeiras – Chad, Camarões	56
n) Telhados artesanais desmontáveis de fibras têxteis - Roma	56
o) Construções temporárias desmontáveis de fibras têxteis - França	58
p) Construção temporária desmontável de ferro e vidro - Inglaterra	59
q) Modularização - Grécia	60
r) Modularização - Roma	60
s) Modularização - Japão	61
t) Pré-fabricação – construção em série	62
u) Pré-fabricação – abrigos militares	63

v) Pré-fabricação – Brasil	64
2.3. Estado-da-arte: procedimentos sócio-econômicos e ambientais do fornecimento de abrigos emergenciais e aspectos técnicos	65
2.4. Procedimentos de organizações e entidades de ajuda humanitária	66
2.4.1. Fases	66
2.5. Modelos de abrigos e projetos realizados	67
2.6. Portabilidade e mobilidade – técnicas adequadas para emergências e espaços transitórios	74
2.6.1. Módulos (<i>module</i>)	75
2.6.2. Pacotes (<i>flat-pack</i>)	76
2.6.3. Tensionados (<i>tensile</i>)	77
2.6.4. Pneumáticos (<i>pneumatic</i>)	77
2.6.5. Mobilidade (<i>mobile</i>)	79
2.7. Diretrizes técnicas para construção e projetos de abrigos	81
2.7.1. Tamanhos de abrigos	81
2.7.2. Containeres e paletes	82
2.7.3. Materiais de construção recomendados	82
2.8. Desenvolvimento sustentável e painel sanduíche de bambu	83
2.8.1. Desenvolvimento sustentável	83
2.8.2. Agenda 21	84
2.9. Materiais de construção convencionais	85
2.9.1. Mudança de paradigma	86
2.9.2. Consumo de energia	87
2.9.3. Construção seca	89
2.10. Outras técnicas não convencionais	90
2.10.1. Painéis de bambu	90
2.10.2. Painéis com Tetrapak	91
3 Metodologia	93
3.1. Materiais utilizados	94
3.1.1. Bambu	94
3.1.2. Placas recicladas	105
3.1.3. Adesivo à base de óleo de mamona	107
a) Mamona	107
3.2. Painéis sanduíche	109
3.3. Desenvolvimento dos painéis sanduíche de bambu (bambuiche)	

e projeto de abrigo Emergencial	109
3.4. Proposta de desenvolvimento de abrigo emergencial	112
3.4.1. O projeto	114
3.4.2. Montagem	116
4 Estudo experimental	123
4.1. Preparação do material	123
a) Bambu	123
b) Placas	124
c) Aplicação de resina e montagem dos painéis	125
4.2. Descrição dos métodos de ensaio	126
4.3. Ensaio de flexão em 3 pontos	128
4.4. Comparação dos resultados com outros painéis	132
4.5. Comparação dos resultados da flexão	133
5 Conclusão	138
5.1. Sugestão para trabalhos futuros	142
5.2. Comentários finais	143
Ensaio de Compressão	168
Ensaio do Núcleo- Bambu	168
Resultados no núcleo – bambu	170
Ensaio da face- placa reciclada	171
Resultados da face – placa reciclada	172
Ensaio do painel sanduíche de bambu	172
Resultados do painel sanduíche de bambu	175
Ensaio do painel sanduíche de bambu – furos na vertical	176
Resultados do painel sanduíche de bambu – furos na vertical	178
Ensaio de cisalhamento – adesivo	179

Lista de figuras

Figura 1: Desastres naturais reportados 1900-2010. (Fonte: “EM-DAT: The OFDA/CREDInternational Disaster Database - Université Catholique de Louvain - Brussels – Belgium”;2012)	36
Figura 2: Acampamento de desabrigados pelas inundações em Barreiros, Pernambuco. (Fonte: Revista Veja, 2012)	37
Figura 3: Desastres naturais mais recorrentes no Rio de Janeiro de 1991 a 2010 (Fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, 2013)	38
Figura 4: Tragédia na região serrana do Rio de Janeiro em janeiro de 2011. (Fonte: Nortão News, 2012)	39
Figura 5: Duração dos programas de fornecimento de abrigo (Fonte: Shelter Projects, 2010)	40
Figura 6: A) Tenda-Magdalenian-Pincevent-França-(Fonte: Wikipedia; Autor: Locutus Borg, 2012); e, B) Tenda Paleolítica. (Kronenburg, 2005, apud Anders, 2007, p.44)	44
Figura 7: A) Modo de vida (Sítio Arqueológico-Dolni Vestonice- República Tcheca; Autor: Giovanni Caselli, 2012); e B) Abrigo de ossos e pele de mamute. (Fonte: Kiev Natural History Museum, Ucrânia. Autor: Sasha Desyaterik, 2012)	45
Figura 8: Abrigos da Vila <i>Banpo</i> : fogueira central e base retangular e redonda (Fonte: Museu Banpo, em Xi' An, na China, em 2011)	46
Figura 9: A) Abrigo de inverno (Fonte: Oliver, 2003) e B) Abrigo de verão. (Fonte: University of Louisville, Autor: O.D. Goetze, 2012)	46
Figura 10: A) Nômades pastores. (Fonte: Flickr; Autor: Hamed Saber, 2006); B) Tenda Preta de Beduínos no deserto da Síria (Flickr; Autor: Yeowatzup, 2010)	47
Figura 11: A) Cobertura estrutural tracionada; e B) Resfriamento passivo. (Fonte: Politecnico di Milano A) Autora: Francesca Focolari, 2008; B) Autor: T. Berger, 2005)	48
Figura 12: A) Abertura para circulação de ar. B) Acampamento nômade no deserto. (Fonte: Politécnico di Milano; Autora: Francesca Focolari, 2008)	48
Figura 13: Tenda <i>tipi</i> com abertura no alto; (Oglala Lakota tipi. Fonte: Wikipédia; Autor: Karl Bodmer, 2012)	49

Figura 14: Cobertura não estrutural de pele e lona apoiada em estrutura de madeira (Kuusisto, 2010, p.26; Faegre, 1979, p.156)	50
Figura 15: Tenda <i>Goahti</i> em primeiro plano e Tenda <i>Lavvu</i> ao fundo (Fonte: Wikipédia; Autor: Photoglob AG Zürich, 2012)	50
Figura 16: Tendas <i>tuareg</i> . A) Fonte: Louisiana State University, apud Vélez, 2005. Acesso: 30/03/2012; e B) Fonte: Jornal The Guardian, 2011, Autor: Dan Chung)	51
Figura 17: A) yurt turco. (Fonte: Wikipedia. Autor: Sergei Mikhailovich Prokudin-Gor, 2012). B) yurt mongol (Mongolia Attractions, 2012)	52
Figura 18: Montagem de um <i>yurt</i> Mongol. (Fonte: Wikipedia. Autor: Desconhecido, 2012)	52
Figura 19: Transporte e Portabilidade. A) Camelo (Fonte: McGill University. Autor: Shoenauer, 2012; B) Caminhão transportando a tenda (Fonte: Blue Peak. Autor: Roger Gruys, 2012)	53
Figura 20: Gehr do deserto de Gobi, Mongólia. (Fonte: Panoramic Journeys, 2012)	53
Figura 21: Tenda Árabe dos marsh - povos da Mesopotâmia (Fonte: Laputan Logic, 2012, Autor: Nik Wheeler)	53
Figura 22: Habitação Flutuante dos uros (Fonte: Dornob Design Ideas, 2012; Autor Desconhecido)	54
Figura 23: Tendas de terra, Camarões, África. A) (Egodesign, 2012, Autora: Fiona Meadows); e B) (Vitruvius; Autor: Gonzalo Vélez, 2005)	55
Figura 24: Habitação Gurunsi-tiebele, África (Fonte: Dan Heller, 2012)	55
Figura 25: Tendas de junco. A) Namíbia (Fonte: UNESCO apud Vélez, G. 2005); B) Sudão (Fonte: University of Wisconsin; Autor: Sharon Hutchinson, 2012)	56
Figura 26: Telhados de palmeiras: A) Camarões B) Chad (Fonte: University of Wisconsin, 2012)	56
Figura 27: A) Tenda militar romana – “papilio” (Fonte: Politecnico di Milano, 2012. Editado pela Autora). B) Desenho da Autora	56
Figura 28: A) Cobertura desmontável do Coliseu (Autor: Berger, 1996 apud Kuusisto, 2010) Editado pela Autora; e B) Velaria do Coliseu (Autor: Berger, 2005 apud Kuusisto, 2010). Editado pela Autora	57
Figura 29: A) Interior do Coliseu coberto B) Suporte da cobertura (Fonte: The Colosseum, 2012, Autor: Desconhecido). Editados pela Autora	58

Figura 30: A) Tenda de circo - Chapitêu (Forster, 1994 apud Pauletti, R.; e B) Tenda cônica - Casa de Banquete - Calais, França (Kuusisto, 2012 apud Kronenburg, 1995)	58
Figura 31: Palácio de Cristal, Londres, Inglaterra. (Fonte: Wikipedia; Autor: Dickinson's: " <i>Comprehensive Pictures of the Great Exhibition of 1851</i> ")	59
Figura 32: Colunata grega modular, esquina diferenciada. (Fonte: Nissen, 1976, apud Greven & Bauldauf, 2007)	60
Figura 33: Traçado urbano do período Edo, Japão (Autor: Azby Brown, <i>Just Enough</i> , p.123-4, 2009. Traduzido e adaptado pela Autora)	61
Figura 34: Mercado Ver-o-Peso, Belém, Pará. (Wikipedia; Autor: Mauricio Mercer, 2007)	62
Figura 35: Abrigo nissen. A) e B) Montagem (Fonte: Langham, 2012); C) Peças desmontadas (Fonte: News Domain, 2012)	63
Figura 36: Abrigos remanescentes da 2ª Guerra, atualmente usados como residência. (Fernando de Noronha, Brasil, Junho de 2012)	64
Figura 37: Desabrigados do terremoto da Turquia (Fonte: R7 Notícias, 2011)	67
Figura 38: Igloo Satellite Cabin (Fonte: Inhabitat, 2013; Autor: Petra)	68
Figura 39: Vila Emergencial de superadobe. (Fonte: Cale Earth, 2011)	69
Figura 40: Dadaab, Kenya, África. (Fonte: Shelter Projects 2009, p.23, Autor: Jake Zarins)	70
Figura 41: Unidades pré-fabricadas, L'Aquila, Itália, 2009 (Shelter Projects, 2009, p.62)	71
Figura 42: Abrigos emergenciais. A) Abrigo de papelão - Kobe, Japão, Arquiteto Shigeru Ban; e B) Abrigo de papelão - Turquia, Arquiteto Shigeru Ban. (Fonte: Shigeru Ban, 2012)	71
Figura 43: Abrigos emergenciais montados no local. Sozmakala, Afeganistão. (Fonte: <i>Shelter Projects</i> , 2009; Autor: Shaun Scales)	72
Figura 44: A) Distribuição de materiais e autoconstrução. Sri Lanka, 2007; B) Auto-construção na Somália (Fonte: Shelter Projects, 2009, Autor: Joseph Ashmore)	73
Figura 45: Módulo. A) Abrigos containeres da ISAF; B) Treysan (Fonte: Army Technology, 2012)	76
Figura 46: Módulos por partes (Fonte: The Big Idea, 2012)	76
Figura 47: <i>Flat-pack</i> (Fonte: Army Technology, 2012)	77
Figura 48: Acampamento de desabrigados em tendas em Teresópolis, no Rio de Janeiro (Fonte: Shelter Box, 2012)	78

Figura 49: Abrigo inflável. (Fonte: Texas University, 2011)	78
Figura 50: Matriz de movimentos: classificação de construções rígidas retráteis (Otto et al, 1971, citado por Walter, 2006 e Friedman, Farkas, 2011)	79
Figura 51: Cobertura Desmontável – Viena City Hall, Viena (Fonte: Seele, 2012; Arquiteta: Silja Tillner)	79
Figura 52: Estádio olímpico de Londres (Fonte: Wikipedia, 2012)	80
Figura 53: Arenas recicláveis. A) Parque aquático	
B) Estádio de basquete (Fonte: Terra, 2012; Autor: DOA, Getty Images)	80
Figura 54: <i>Triple Bottom Line</i> (TBL). (Fonte: Mi Universo Digital. Adaptada pela Autora, 2012)	84
Figura 55: A) Parede de colmos inteiros de bambu; B) Parede de colmos de bambu cortados ao meio (Fonte: Jayanetti e Follet (1998) apud Padovan (2010)	90
Figura 56: A) Montagem do painel em quadro de madeira de ripa comercial; e B) Aplicação de argamassa (Fonte: Nunes, 2005).	91
Figura 57: Laje de concreto reforçada com bambu (Achá, 2002)	91
Figura 58: Painel alveolar modular de concreto com telhas de tetrapak (Fonte: Revista Habitare, 2009)	92
Figura 59: A) Preparação do painel; e B) Ensaio de compressão (Fonte: Nunes et. al., 2009)	92
Figura 60: Mapa de distribuição natural de bambu o mundo (Fonte: Laroque, 2007), editado pela Autora	95
Figura 61: Distribuição geográfica do bambu no Brasil (Fonte: Fialho et al., 2005 apud Barelli (2009); e Wikimedia, 2012; editados pela Autora)	97
Figura 62: Casas centenárias de bambu (Fonte: Revista Galeria Bambu nº 202, Março de 2010; Autor: Jorge Alberto Velásquez Gil)	98
Figura 63: Floresta de <i>Phyllostachys áurea</i> . (Fonte: Bamboo Web, 2012)	99
Figura 64: Projeto Camburi (Fonte: ABMTENC, 2012)	100
Figura 65: Escola Verde, em Bali, Indonésia. (Fonte: Casa Pré-fabricada, 2012)	101
Figura 66: Fábrica de bicicletas de bambu CEU Jardim Paulistano, Brasilândia, SP. (Fonte: Jornal O Estadão, 2012)	102
Figura 67: A) e B) bambu laminado colado (Pereira, 1997 apud Moizés, 2005); C) BLC em camadas verticais (Fonte: Zen Bamboo, apud Moizés, 2005) e D) BLC com uma camada (Fonte: C Bamboo, 2012 apud Moizés, 2005)	103

Figura 68: Painéis de partículas de bambu (Fonte: Green Corp; apud Moizés, 2005)	103
Figura 69: Bambu laminado estrutural Glubam (Fontes: Glubam; Our Everyday Earth; Inhabitat, 2012)	103
Figura 70: Forro de ripas de bambu no Aeroporto de Barajas, Madri, Espanha, 2010	104
Figura 71: Andaimes de bambu em Hong Kong, 2011	104
Figura 72: A) Resíduos industriais de embalagens laminadas com polietileno (Fonte: Ecoway Sistemas de Reciclagem Ltda, 2012); e B) Fabricação de telha reciclada de plástico e alumínio de embalagens longa vida (Fonte: Wikipédia. Autor desconhecido, 2012)	105
Figura 73: A) Mamoeira (Fernando de Noronha, Brasil, 2012); e B) Semente da mamona (Fonte: USDA, 2012)	107
Figura 74: Os diâmetros variados do bambu (Ariró, Angra dos Reis, 2012, fotos tiradas pela Autora)	110
Figura 75: Bambu (Ariró, Angra dos Reis, 2013, foto tirada pela Autora) e Esquema de corte transversal do bambu para padronização	110
Figura 76: Pannel sanduíche com núcleo de bambu (bambuiche)	111
Figura 77: Pannel sanduíche de bambu alveolar (bambuiche)	112
Figura 78: Caixas de leite longa vida (RJ, 2012)	114
Figura 79: Bambu (Ariró, 2013)	114
Figura 80: Mamona (F. de Noronha, 2012)	114
Figura 81: Abrigo emergencial	114
Figura 82: Projeto do abrigo em planta	115
Figura 83: Fogueira central. Vila Banpo (XI' An, China, 2011)	115
Figura 84: Calha para recolhimento de água da chuva	115
Figura 85: Direcionamento da água da chuva (Camarões, África. Fonte: Vitruvius, Autor: Gonzalo Vélez, 2005)	115
Figura 86: Ventilação	116
Figura 87: Ventilação e Iluminação naturais	116
Figura 88: Projeto de abrigo com montagem por peças	117
Figura 89: Montagem das peças isoladamente	118
Figura 90: Projeto de abrigo dobrável com módulo central fixo	118
Figura 91: Cobertura desmontável –Viena City Hall, Viena (Fonte: Seele, 2012; Arquiteta: Silja Tillner)	118
Figura 92: Abrigo desmontado	119

Figura 93: Montagem giratória	118
Figura 94: Montagem por desdobramento	119
Figura 95: Após montagem das partes	119
Figura 96: Modelo de abrigo com montagem giratória	120
Figura 97: Gurunsi-tiebele, África (Fonte: Dan Heller, 2012)	120
Figura 98: A) Parte 1 montada; B) Vista interna das partes 1 e 2	120
Figura 99: A) Parte 1 desmontada; B) Telhado – parte 1	121
Figura 100: A) Desmontagem do telhado B) Abrigo desmontado	121
Figura 101: Transporte dos abrigos emergenciais.	
A) Containeres (Cybervida, 2012); e B) Caminhão-baú de 6,00 metros (Água Verde, Curitiba, 2012)	121
Figura 102: Módulo básico	122
Figura 103: Refletindo a cultura local	122
Figura 104: Refletindo a cultura local	122
Figura 105: Expansão	122
Figura 106: Sequência de preparação e corte do bambu (Marcenaria, Guaratiba, Rio de Janeiro; 2012)	124
Figura 107: Flexibilidade da placa de tetrapak isolada (Fonte: Engeplas, 2010)	125
Figura 108: Aplicação da resina numa face da placa (Laboratório PUC-Rio, 2012)	126
Figura 109: Corpos-de-prova dos painéis colados	126
Figura 110: Exemplo do carregamento no ponto central e esquema (ASTM C 393-00)	129
Figura 111: Pannel sanduíche de bambu submetido ao ensaio de flexão	130
Figura 112: Tensão média de flexão (σ_{fm}) vs. deslocamento (Δ) do pannel sanduiche de bambu	131
Figura 113: Carga (P) vs. flecha (Δ) no ensaio de flexão do pannel sanduiche de bambu.	131
Figura 114: Deformação do pannel sanduíche de bambu durante o ensaio	133
Figura 115: Pannel ACM (Fonte: Alibaba, 2012)	134
Figura 116: Pannel ACM (Fonte: Alibaba, 2012)	134
Figura 117: Pannel CRFS (Fonte: Brailit, 2012)	135
Figura 118: Pannel GRC (Fonte: Alibaba, 2012)	135
Figura 119: Pannel CRFS (Fonte: Madel, 2012)	135

Figura 120: Painel sanduíche de bambu e tetrapak desenvolvido neste trabalho	136
Figura 121: Gesso Acartonado (Fonte: Sul Módulos, 2012)	136
Figura 122: Painel MDF (Fonte: Wikipedia, 2012)	136
Figura 123: Painel Gustafs (Fonte: Gustafs, 2012)	136
Figura 124: A) Ensaio de compressão do bambu com medida de deformação através de clip-gage colado no mesmo CP no sentido longitudinal; B) Corpo-de-prova após tensão de ruptura máxima	169
Figura 125: Tensão de compressão (σ_c) vs. deformação de uma célula de carga do núcleo de bambu (ϵ_c).	169
Figura 126: Tensão vs. deformação	170
Figura 127: À esquerda, painéis sanduíche com recheio polimérico (a), colméia (b), e corrugado (c). À direita, detalhe da colméia de bambu para recheio de painel sanduíche	170
Figura 128: Tensão vs. deformação da placa tetrapak isolada	171
Figura 129: Ensaio de compressão do painel sanduíche de bambu	173
Figura 130: Tensão de compressão (σ_c) vs. deformação dos corpos de prova de painel sanduíche de bambu (ϵ_{ps})	174
Figura 131: A) bloco com furo na horizontal (fonte: NBR 15270-1 de 2005); B) painel sanduíche de bambu	175
Figura 132: Aplicação da carga no sentido perpendicular do painel sanduíche de bambu	176
Figura 133: Corpos-de-prova antes e depois do ensaio	176
Figura 134: Tensão de compressão (σ_c) vs. deformação do painel sanduíche de bambu (ϵ_{ps}).vs.	177
Figura 135: A) bloco com furo na vertical (fonte: NBR 15270-1 de 2005); B) painel sanduíche de bambu	178
Figura 136: Corpo-de-prova do grupo 1	179
Figura 137: Corpo-de-prova do grupo 2	180
Figura 138: Tensão de cisalhamento do adesivo (τ_a) vs. deformação dos corpos de prova ESB2 (ϵ_{sb2}).	180
Figura 139: Corpo-de-prova do grupo 3	180
Figura 140: Tensão de cisalhamento do adesivo (τ_a) vs. deformação dos corpos de prova ESB3 (ϵ_{sb3}).	181
Figura 141: Corpo-de-prova do grupo 4	181
Figura 142: Tensão de cisalhamento do adesivo (τ_a) vs. deformação	

dos corpos de prova ESB4 (ϵ_{sb4}).	181
Figura 143: Corpo-de-prova do grupo 5	182
Figura 144: Tensão de cisalhamento do adesivo (τ_a) vs. deformação dos corpos de prova ESB5 (ϵ_{sb5}).	182
Figura 145: Resistência do adesivo em cada corpo-de-prova (ESB) testado	183
Figura 146: Média das resistências do adesivo alcançadas por grupo	183

Lista de tabelas

Tabela 1-Casas a construir na região serrana do Rio de Janeiro	39
Tabela 2 - Pontos fortes e fracos do abrigo temporário em relação à outras soluções	74
Tabela 3 - Dimensões de containeres	82
Tabela 4- Pontos-chave para o desenvolvimento sustentável	84
Tabela 5: Novas tecnologias em desenvolvimento	86
Tabela 6: Consumo de energia (MJ) para produção de 1 m ³ por unidade de força (MPa)	88
Tabela 7 - Consumo de energia para diferentes elementos de construção	88
Tabela 8- Demanda de energia para cada etapa da construção	88
Tabela 9 - Requisitos de materiais e componentes	94
Tabela 10 - Distribuição natural do bambu pelo mundo	96
Tabela 11 - Consumo de bambu em países asiáticos	96
Tabela 12 - Distribuição geográfica do bambu no Brasil	97
Tabela 13-Vantagens do bambu	101
Tabela 14- Desvantagens do bambu	101
Tabela 15-Vantagens das placas recicladas de Tetrapak	107
Tabela 16 - Etapas da montagem dos painéis sanduíche de bambu - Bambuiche	112
Tabela 17- Diretrizes para uma construção sustentável	113
Tabela 18 - Densidade dos materiais utilizados	128
Tabela 19 - Propriedades da Resina de Mamona	128
Fonte: Ensaio encomendado pelo fabricante ao IPT	128
Tabela 20 - Resultados dos ensaios de flexão	131
Tabela 21- Comparação do painel sanduíche com outros painéis de vedação	133
Tabela 22 - Comparação de painéis sanduíche	135
Tabela 23- Densidade e índice de propagação de chama (Ip)	137
Tabela 24- Resistência à compressão	169
Tabela 25- Comparação com recheios de painéis sanduíche	171
Tabela 26- Propriedades da placa reciclada	171
Tabela 27- Propriedades dos Materiais	172

Tabela 28- Dados dos corpos-de-prova de compressão	173
Tabela 29- Dados dos corpos-de-prova de compressão e resultados dos ensaios	174
Tabela 30- Geometria dos corpos-de-prova	177
Tabela 31- Resultados do ensaio	178
Tabela 32- Comparação dos materiais com o painel sanduíche de bambu montado	179
Tabela 33- Módulo de elasticidade	182
Tabela 34- Comparação do núcleo de bambu com outros materiais	184

“A filosofia e a experiência (know how) dos construtores anônimos constituem a maior fonte de conhecimento e potencial de inspiração arquitetônica para o homem industrial”.

Bernard Rudofsky

“Se queres ser universal, fala da tua aldeia”.

Leon Tolstói

“Arquitetura não é fazer projetos bonitos, é construir soluções”.

Sinclair Cameron - Architecture for Humanity

1

Introdução

Nos últimos anos o mundo tem sido palco de desastres ambientais de grandes proporções causados por inundações, tsunamis, terremotos, deslizamentos de terra, erupções vulcânicas, ciclones, furacões, entre outros. Os desastres naturais também são agravados, em parte, pelo excesso de uso de aço, alumínio, cimento e outros materiais industrializados, que muito contribuem para aumentar a mudança climática em nosso planeta por emissões de gases provenientes de seus processos produtivos.

No Brasil e pelo mundo afora, milhares de pessoas se tornam desabrigadas da noite para o dia. Em janeiro de 2011, uma enxurrada devastou a região serrana do Rio de Janeiro. A tragédia deixou um rastro de destruição, perdas materiais e humanas, e foi considerado nosso maior desastre natural desde 1967, com aproximadamente 918 mortos, mais de 300 desaparecidos e 30 mil desabrigados (Defesa Civil, 2011).

Governos e Entidades Humanitárias providenciam e fornecem abrigos provisórios que acabam tornando-se definitivos. O processo de reconstrução muitas vezes é lento, principalmente em países pobres, onde freqüentemente, tendas improvisadas se tornam moradias por longos períodos.

Em Pisco, no Peru, cinco anos após o terremoto de 2007 havia 180 mil desabrigados vivendo precariamente. (Direito.org, 2012).

Em Port-Au-Prince, no Haiti, dois anos e meio após a tragédia de 2010, havia 78.175 desabrigados vivendo em barracos improvisados sobre antigo depósito de lixo. (Oxfam GB, 2012).

Em Fukushima, no Japão, o terremoto seguido de tsunami ocorrido em março de 2011, dois anos depois ainda contabiliza 21 mil pessoas em casa de parentes ou abrigos provisórios. (ONU (OCHA), 2013 apud Revista Exame).

E no Brasil, não foi diferente, dois anos após a enxurrada de 2011 que castigou a região serrana do Rio de Janeiro, nenhuma das seis mil casas prometidas pelo governo foi construída e 8311 famílias ainda recebem aluguel social (Secretaria Estadual de Assistência Social, 2013).

Este estudo foi desenvolvido com a finalidade de proporcionar melhores condições de vida à população atingida por tragédias enquanto aguarda a

reconstrução de habitações permanentes. E, propõe apresentar um abrigo de baixo custo e fácil de montar, que ao mesmo tempo seja uma habitação eficiente e durável. Para compor o abrigo emergencial com estas características foi desenvolvido um painel sanduíche, de bambu, explorando seu potencial como um material aceito mundialmente e amplamente utilizado, porém visto sob outra perspectiva, de forma atípica, introduzindo um novo conceito em sua utilização.

O painel sanduíche desenvolvido é composto de bambu em conjunto com placas de material reciclado e resina de óleo de mamona. Buscou-se utilizar materiais sustentáveis e com baixo consumo de energia, para desenvolver um abrigo fácil de transportar, leve, fácil de montar, e de baixo custo.

Como produtos finais deste trabalho são apresentados um painel sanduíche de bambu, e um abrigo emergencial desmontável para ser utilizado como um núcleo de habitação, que poderá ser desmontado ou expandido de acordo com as necessidades das famílias.

O abrigo foi desenvolvido empregando tecnologia de construção modular cujo módulo básico, ou núcleo, poderá se tornar parte de uma moradia definitiva. O abrigo é pré-fabricado para atender às demandas urgentes e solucionar imediatamente a situação de moradia. Acredita-se que a resposta rápida de fornecimento de abrigo contribui para que as pessoas atingidas fiquem disponíveis para trabalhar, voltando logo às suas atividades, podendo inclusive colaborar, como mão-de-obra no trabalho de reconstrução das áreas atingidas.

O painel sanduíche de bambu desenvolvido propõe uma nova tecnologia, sustentável, que poderá vir a substituir os materiais convencionais em diversas aplicações, contribuindo para reduzir os efeitos negativos da emissão de gases do efeito estufa emitidos pelo setor da construção civil.

O abrigo emergencial tem por objetivo prover acomodação digna, oferecendo segurança pessoal e privacidade às famílias desabrigadas para que possam reconstruir suas vidas.

1.1. Objetivos

Esta pesquisa teve como objetivo principal o fornecimento de abrigos desmontáveis para utilização após desastres ambientais, capazes de suprir as necessidades humanas de moradia e oferecer condições dignas de habitação para as pessoas desabrigadas para que suas vidas possam retornar às suas rotinas no menor intervalo de tempo possível¹.

Como objetivo secundário, analisar, desenvolver e introduzir um novo material de construção utilizando materiais naturais e sustentáveis.

O estudo possui os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver e analisar um material não convencional, formado por um painel sanduíche utilizando o bambu como núcleo estrutural em forma de alvéolos e placas recicladas como faces externas, unidas por resina de poliuretano vegetal à base de óleo de mamona;
- Analisar a resistência deste material; Comparar com outros painéis;
- Propor um abrigo emergencial utilizando estes painéis.

Os beneficiários diretos serão as Organizações de Ajuda Humanitária, Entidades Governamentais e, Instituições envolvidas em provisão de socorro a desabrigados e vítimas de Desastres Ambientais.

1.2. Panorama geral dos desastres ambientais

Desastres naturais ocorrem freqüentemente desde as eras mais remotas, como na formação dos continentes, a Pangéia². No mundo atual, as proporções catastróficas que presenciamos são atribuídas por muitos pesquisadores à

¹ Article 25 of the United Nations Universal Declaration of Human Rights states that “Everyone has the right to a standard of living adequate for the health and well-being of himself and of his family, including food, clothing, housing and medical care and necessary social services...”

Principle #10 of the 1994 Special Rapporteur's Report to the United Nations Commission on Human Rights states: “All persons have the right to adequate housing, land tenure and living conditions in a secure, healthy and ecologically sound environment.” Declaração de Direitos Humanos. (Sharma, 2010, p.2)

² Designa-se por Pangéia o continente que, segundo a teoria da deriva continental, existiu até há 200 milhões de anos, durante a era Mesozóica, porém, há relatos também de 540 milhões de anos. A palavra origina-se do fato de todos os continentes estarem juntos. (fonte: Wikipédia, 2011)

combinação de fatores, como mudanças climáticas e o crescimento populacional. De acordo com o 4º relatório do IPCC-4º Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), de 2007, que compila os estudos sobre base científica da mudança do clima:

“... o aquecimento global é um fenômeno inequívoco e, muito provavelmente, causado pelas atividades antrópicas. “Outro aspecto distinto da mudança atual do clima é a sua origem: ao passo que as mudanças do clima no passado decorreram de fenômenos naturais, a maior parte da atual mudança do clima, particularmente nos últimos 50 anos, é atribuída às atividades humanas”. (IPCC, 2007).

Os danos causados pelos desastres naturais podem ser evitados ou mitigados, desde que haja planejamento urbano e políticas públicas de prevenção. Segundo a opinião de dois mil e quinhentos pesquisadores de 193 países que compõem o IPCC, precisamos agir rápido para que a vida na Terra continue sendo viável. Estamos presenciando invernos super rigorosos, como o que ocorreu na Europa em 2012, verões super quentes ou amenos demais, ou seja, as estações do ano não são mais previsíveis.

A emissão de poluentes no ambiente se intensificou com o crescimento populacional, consumindo e degradando os recursos naturais. Segundo o IBAMA (2008), a concentração de dióxido de carbono na atmosfera observada em 2005 excedeu, e muito, a variação natural dos últimos 650 mil anos, atingindo o valor recorde de 379 ppmv (partes por milhão em volume) - isto é, um aumento de quase 100 ppmv desde a era pré-industrial. O crescimento populacional, a degradação ambiental e a emissão de gases estão diretamente relacionadas com os desastres ambientais, como pode ser observado, na Figura 1, que mostra a ocorrência dos desastres naturais entre 1900-2010 (100 anos), o aumento exponencial de desastres naturais nas últimas décadas.

O crescimento populacional é outro fator de grande impacto que torna os desastres naturais mais arrasadores, porque desastres ocorreram muitas vezes onde não havia ninguém e, portanto, não tiveram maiores consequências.

Pelo censo demográfico de 2009-2010 divulgado pela ONU, a população mundial já atingia os 6.908 bilhões de habitantes distribuídos entre os continentes de maneira desigual.

As cidades atraem cada vez mais pessoas por toda infra-estrutura urbana que proporcionam e geram um fluxo migratório em busca de acesso à educação, saúde, segurança, lazer, e oportunidades de trabalho. Atualmente mais da metade da população mundial vive em áreas urbanas e a tendência em longo prazo é levar ainda mais as pessoas para as cidades.

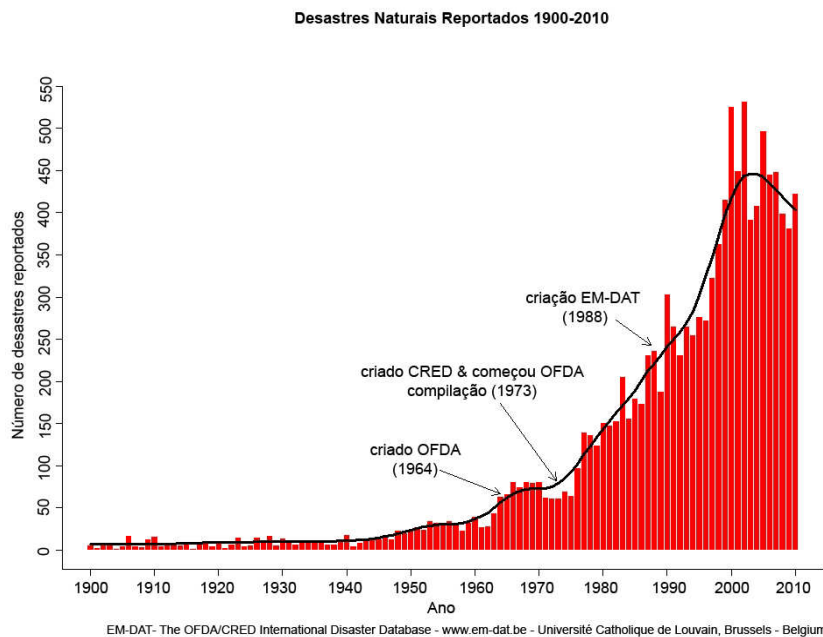


Figura 1: Desastres naturais reportados 1900-2010. (Fonte: “EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database - Université Catholique de Louvain - Brussels – Belgium”;2012)

O relatório das Nações Unidas, *State of the World Population* publicado em 2007, estimou que em 2008 mais de 3,3 bilhões de pessoas, ou seja, mais da metade da população mundial estaria vivendo em áreas urbanas, e a projeção para 2030 é de que mais de 81% da população estará vivendo nas cidades. Isso representa um aumento estrondoso na demanda por habitação e será necessário um planejamento muito bem elaborado para que essa migração em massa para as cidades não implique em proliferação de subhabitações e ocupação de áreas de risco.

Além disso, os setores industriais, e notadamente a indústria da construção civil, causam grande impacto ambiental, seja colaborando para o aumento do chamado efeito estufa, pelo alto consumo de energia, pela geração de resíduos, ou pela utilização de recursos naturais.

O aglomerado urbano gera um fenômeno conhecido como “ilhas de calor urbano”. Nas cidades, a temperatura é mais elevada do que nas áreas rurais, porque as áreas edificadas, os materiais utilizados nas construções e as áreas asfaltadas ou impermeabilizadas refletem e irradiam o calor absorvido, contribuindo para esse fenômeno microclimático. As áreas rurais são protegidas pela vegetação e cursos d’água.

Outros fatores que influenciam nesse aumento de temperatura são: a poluição do ar, a queima de combustíveis fósseis, o uso de aparelhos de ar

condicionado, a redução de áreas verdes e o uso de materiais que absorvem a radiação solar acumulando calor durante o dia e liberando à noite.

A concentração de pessoas vivendo nas cidades potencializa os desastres ambientais. Os maiores impactos são sentidos principalmente nas áreas onde vive a população mais pobre que, em geral, é mais afetada porque ocupa áreas de risco geofísico, como: encostas instáveis, margens de rios e canais, que são regiões inundáveis, falhas geológicas, entre outros.

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudança Climática (*International Panel on Climate Change – IPCC*) (2007), a intensidade e a frequência de eventos extremos como inundações, secas, furacões e tormentas tropicais vêm aumentando desde 1979, e estima-se que, nas próximas décadas as mortes e doenças associadas a estes eventos aumentem também. (IPCC, 2007).



Figura 2: Acampamento de desabrigados pelas inundações em Barreiros, Pernambuco. (Fonte: Revista Veja, 2012)

Maskrey (1993) aponta que a população mais pobre é mais vulnerável também pela construção de casas muito precárias, sem resistência adequada, com a utilização de materiais e técnicas inapropriadas que aumentam os riscos.

“Os países em desenvolvimento sofrem os piores impactos, por exemplo, das 262 milhões de pessoas afetadas por desastres climáticos anualmente de 2000 a 2004, mais de 98 por cento vivem em países em desenvolvimento” (*United Nations Development Programme*, 2008:8). *Poverty Reduction Strategy Papers* (PRSPs)- Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA).

Os avanços tecnológicos que o mundo vivenciou desde a época da industrialização transformaram o modo de vida e a relação do homem com o planeta. As máquinas que chegaram para automatizar os processos, antes artesanais, consomem energia, que é produzida a partir de recursos naturais e

emissão de poluentes, como divulgado pelo IPCC (2007). O aumento da temperatura desencadeia fenômenos climáticos extremos, entre eles, o aumento da intensidade das chuvas, provocando cheias e deslizamentos de terra em áreas impermeabilizadas pela urbanização. Segundo o INPE (2006), há mais de cem anos o planeta vem se aquecendo e nos últimos cinquenta anos, esse aquecimento foi de 0,5°C.

Estudos nas diversas áreas do conhecimento são incentivados para garantir um planeta viável para as gerações futuras. Entre os desafios a serem superados está a simplificação de procedimentos técnicos, materiais e sistemas construtivos para a produção de habitação emergencial para acomodar as pessoas desalojadas ou desabrigadas.

Geralmente a parcela mais necessitada da população perde sua moradia nesses episódios, e dificilmente conseguem reconstruí-las com recursos próprios. E, foi pensando nessa lacuna entre a necessidade eminente de moradia e a demora ao restabelecimento do cotidiano das pessoas afetadas por falta de moradia adequada, que este estudo foi desenvolvido.

Dados do EM-DAT, *International Disaster Database*, apontam que as inundações são os desastres climáticos naturais mais frequentes, e os maiores desastres com tempestades e inundações ocorreram nas duas últimas décadas.

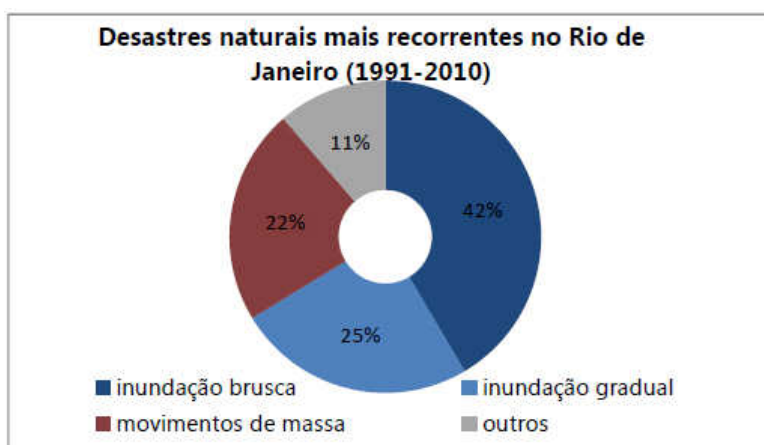


Figura 3: Desastres naturais mais recorrentes no Rio de Janeiro de 1991 a 2010 (Fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, 2013)

O Brasil não foge à regra, aqui as inundações foram as maiores e mais catastróficas ocorrências de desastres ambientais, causaram o maior número de mortes e deixaram milhares de pessoas desabrigadas nos últimos dez anos. No ano de 2011, dois milhões e quinhentas mil pessoas foram afetadas. Estamos entre os países com o maior o número de ocorrências de inundações do mundo

Depois das secas e estiagens do Nordeste, as enxurradas e inundações bruscas são as maiores ocorrências de desastres naturais.

No Rio de Janeiro as inundações e deslizamentos de terra são os desastres naturais mais recorrentes, como o que aconteceu em Teresópolis e Friburgo, que deixou 30 mil pessoas desabrigadas ou desalojadas pela tragédia ocorrida deixando mais de 900 mortos (DEFESA CIVIL RJ, 2011).



Figura 4: Tragédia na região serrana do Rio de Janeiro em janeiro de 2011. (Fonte: Nortão News, 2012)

Quase 15 meses após a tragédia de 2011, ainda havia 200 pessoas vivendo em quatro abrigos improvisados e 150 abrigadas num CIEP. Não havia imóveis disponíveis para locação e também nenhum imóvel foi construído para acomodar as pessoas. A Prefeitura declarou o clube Panorama como imóvel de necessidade pública para utilizar como abrigo das pessoas vítimas das chuvas. (Jornal Diário de Teresópolis, 17/11/2012)

Tabela 1-Casas a construir na região serrana do Rio de Janeiro

Cidade	Construção de casas até final de 2013
Friburgo	2166
Petrópolis	2734
Teresópolis	1600
Total	6500
Sem Previsão	773

Fonte: Jornal do Brasil (Autora: Maria Luísa de Melo, 2012)

Um ano após a tragédia que deixou 7273 famílias desabrigadas na região serrana do Rio de Janeiro que as obras para a construção das casas ainda não havia começado. A Secretaria Estadual de Obras programou a construção de 6500 casas com previsão de entrega até o final de 2013, sendo 5500 com recursos do Programa Minha Casa Minha Vida e 1000 com recursos doados por

empresários que não tiveram os nomes divulgados. Esse número ainda deixaria desamparadas 773 famílias cadastradas. (Jornal do Brasil, 2012).

A Figura 5 mostra a duração de alguns programas internacionais implantados para o fornecimento de abrigos e o tempo entre o desastre e o início dos programas.

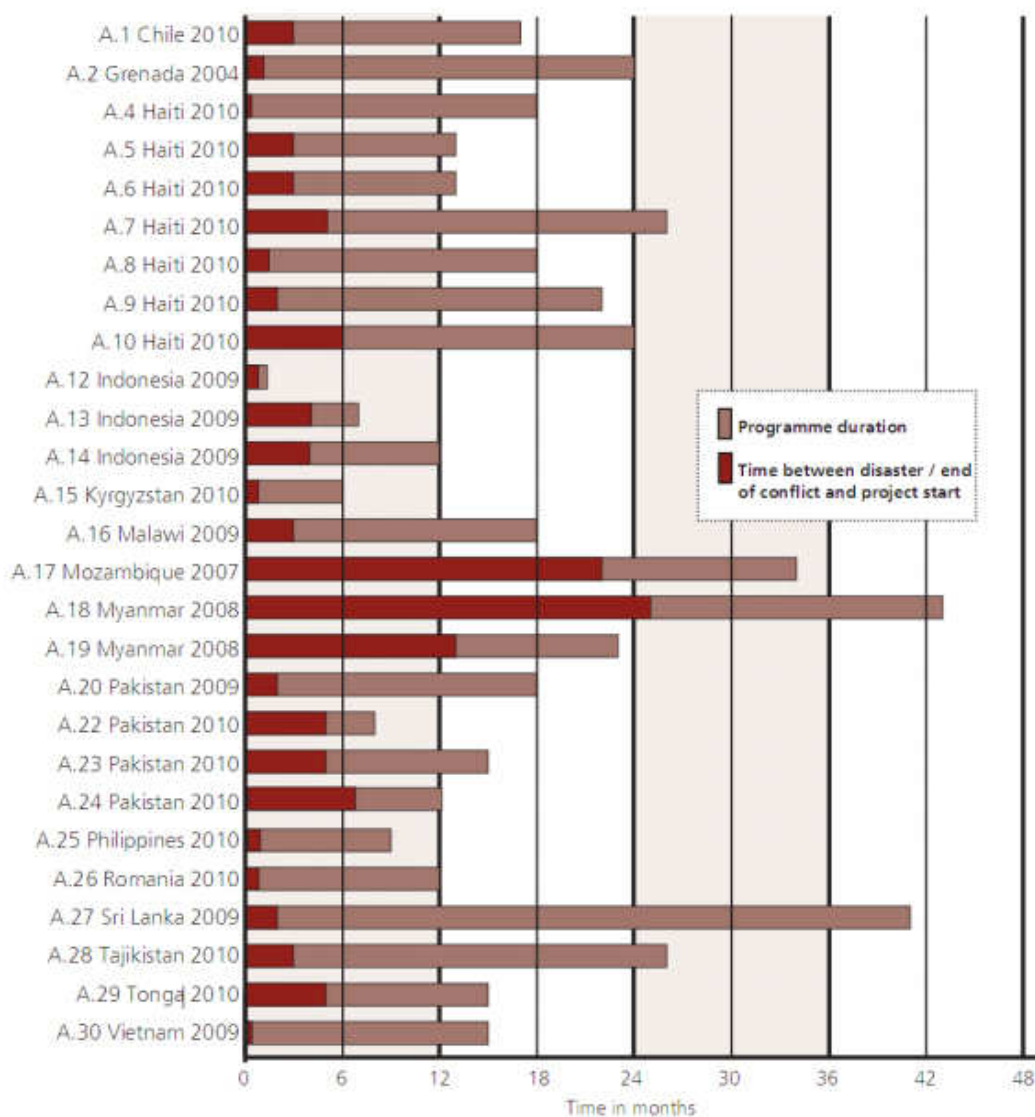


Figura 5: Duração dos programas de fornecimento de abrigo (Fonte: Shelter Projects, 2010)

Enquanto os governos providenciam as obras de infraestrutura e negociam terrenos para a construção de novas casas, as famílias desabrigadas esperam vivendo em condições precárias. Diante destes fatos é fundamental que as áreas brasileiras de pesquisa criem soluções que atendam a estas necessidades. Neste estudo foram analisados os procedimentos adotados pelas autoridades após a ocorrência de catástrofes e as principais soluções de abrigo utilizadas. A

reconstrução das áreas afetadas e as moradias definitivas para as pessoas desabrigadas são processos que podem demorar anos para se concretizar, mas é preciso dar condições dignas de habitação durante essa espera.

1.2.1. Desenvolvimento da pesquisa

Famílias inteiras perdem suas moradias, seus pertences e muitas vezes seus entes queridos e os que sobrevivem ficam separados, em alojamentos improvisados nas escolas, ginásios, templos e prédios públicos à espera de uma tenda para se reunirem novamente até poderem voltar às suas vidas pregressas. Em países como o Brasil essa espera é muito longa, como no caso da região serrana do Rio de Janeiro, após o desastre ocorrido há dois anos, em janeiro de 2011, o programa de reconstrução ainda não começou.

Esta dissertação se destina a oferecer uma solução rápida e funcional para minimizar o tempo de espera de moradia definitiva. Para viabilizar esta proposta foi desenvolvido um material de construção utilizando-se materiais não convencionais, como bambu, de forma também não convencional para montar abrigos emergenciais.

A pesquisa foi executada nas seguintes etapas:

1. Identificação do problema, objetivos e relação dos impactos ambientais com os desastres naturais;
2. Revisão Bibliográfica, com o histórico a habitação humana revisando a utilização de materiais disponíveis e métodos de construção com poucos recursos, análise do consumo de energia na produção de materiais e na construção, conceitos de sustentabilidade, revisão dos programas de fornecimento de abrigos já implantado e diretrizes técnicas recomendadas e alinhamento da pesquisa a estes parâmetros;
3. Metodologia de pesquisa com a seleção de materiais e o desenvolvimento de painéis-sanduiche de bambu, abrigos emergenciais e métodos de montagem;
4. Programa Experimental com descrição dos corpos-de-prova e análise dos resultados;
5. Conclusão, considerações finais e sugestões para trabalhos futuros;

O Capítulo 1 faz um breve relato do cenário mundial apresentando estatísticas de desastres ambientais apontando tópicos relevantes para

ocorrências desses fenômenos. Aborda uma série de temas relevantes para a pesquisa do presente trabalho, tais como: infra-estrutura das cidades, ilhas de calor urbano, mudanças climáticas, frequência crescente de desastres ambientais, impactos em áreas pobres, estatísticas de desastres no Rio de Janeiro, no Brasil e no mundo e descreve os objetivos deste trabalho em estudar uma solução adequada para a necessidade urgente de abrigar pessoas após desastres.

O Capítulo 2 descreve os abrigos utilizados pelo homem ao longo do tempo. Revisa a literatura de procedimentos de provisão de socorro e descreve o estado da arte de abrigos emergenciais. O capítulo também inclui detalhes sobre a tipologia de abrigos emergenciais, considerados neste estudo para a escolha do tipo de abrigo a ser desenvolvido, e a escolha da solução modular utilizando painéis. Descreve os materiais não-convencionais escolhidos para constituir os painéis-sanduíche de bambu e, o compromisso com a sustentabilidade. Também compara diferentes painéis usados na construção civil.

O Capítulo 3 apresenta os gráficos e o desenvolvimento do painel sanduíche de bambu e apresenta proposta de abrigos emergenciais.

O Capítulo 4 descreve os corpos-de-prova, os procedimentos experimentais empregados, e os ensaios realizados, com as amostras e os resultados.

O Capítulo 5 conclui a pesquisa e dá sugestões para trabalhos futuros.

2

Revisão Bibliográfica

2.1. Histórico da habitação humana e a evolução da construção com os materiais disponíveis

Texto baseado nos autores: Braick (2006); Rudofsky (1964) e Roth (1993).

O homem necessita de abrigo.

Abrigo, local que serve para abrigar ou tudo que possa significar amparo ou acolhimento, é algo que protege contra os rigores do tempo. (Houaiss, 2009)

Desde sua mais remota existência o homem procurou proteção, seja contra os predadores ou contra as intempéries.

O sol abrasador, as chuvas torrenciais, as nevascas, as tempestades de areia, as enchentes e inundações, os tremores de terra, os maremotos, os ventos devastadores, os ciclones, as secas e ondas de calor há muito são inimigos naturais da vida humana.

O abrigo protege e preserva a vida, possibilita o retorno à rotina e ao convívio familiar, a reorganização da vida pessoal e também proporciona alívio às pessoas desabrigadas, além de facilitar a reconstrução das áreas afetadas.

No presente trabalho apresentamos as soluções encontradas pelo homem desde sua existência conhecida, e as lições da arquitetura popular tradicional com a utilização de materiais de construção locais disponíveis, a Arquitetura Vernacular. Os materiais disponíveis para a construção de abrigos variam de acordo com as condições climáticas de cada local. Adobe, madeira, bambu, fibras naturais, junco, argila, pedra, gelo, couro, palhas, piaçava, ou turfa, são materiais disponíveis na natureza que são transformados pelo homem com técnicas que foram aprendidas com a própria experiência de vida.

O homem foi construindo a sua habitação com os materiais mais diversos, utilizando os meios disponíveis e formas variadas. A moradia era um reflexo do seu modo de vida: sedentário ou nômade.

A moradia popular ao longo da história é caracterizada por construções simples, feitas com materiais degradáveis como madeira, palha e barro que se deterioram em pouco tempo. Por isso restam poucos vestígios conhecidos por

estudos arqueológicos. Das cavernas às Bases Espaciais Lunares, o homem utilizou diversas formas de abrigo em sua trajetória. As lições aprendidas com as técnicas de construir abrigos ao longo da história podem ser aplicadas nas futuras construções de abrigos emergenciais.

2.2. Histórico da habitação humana

Na Idade da Pedra Lascada, no Paleolítico, há cerca de dois milhões de anos até o período de glaciação, o ancestral do homem vivia num clima tropical, e quando havia necessidade se abrigava em cavernas, disputando-as com animais selvagens. Somente após o período glacial, aproximadamente 10 mil anos a.C. houve uma mudança de comportamento, provavelmente provocada pela escassez de alimentos e necessidade de proteção contra o frio.

a) Primeiros abrigos artificiais

Os abrigos naturais eram fixos, em alguns casos úmidos e mal localizados. O homem pré-histórico que vivia da caça, da pesca e da coleta de frutos e vegetais, precisava se deslocar constantemente à procura de alimentos. Essa necessidade de estar próximo à sua fonte de alimentação teria dado origem aos abrigos artificiais. A Figura 6 mostra restos de uma tenda paleolítica de aproximadamente 12.000 anos a.C. encontrados na França, em Pincevent (Ile-de-France), próximo a Fontainebleau.



Figura 6: A) Tenda-Magdalenian-Pincevent-França-(Fonte: Wikipedia;. Autor: Locutus Borg, 2012); e, B) Tenda Paleolítica. (Kronenburg, 2005, apud Anders, 2007, p.44)

No período glacial os principais materiais de construção eram peles e grandes ossos de animais, como o extinto mamute. Eram estruturas móveis, facilmente desmontáveis, transportáveis e remontáveis, fornecendo aos caçadores e coletores habitações temporárias.

A Figura 7A mostra a reprodução do modo de vida do período glacial e a Figura 7B mostra a reconstrução de um abrigo feito com ossos e pele de mamute encontrado em Mezhirich, na Ucrânia.



Figura 7: A) Modo de vida (Sítio Arqueológico-Dolni Vestonice- República Tcheca; Autor: Giovanni Caselli, 2012); e B) Abrigo de ossos e pele de mamute. (Fonte: Kiev Natural History Museum, Ucrânia. Autor: Sasha Desyaterik, 2012)

Há vestígios de assentamentos com cabanas e tendas feitas de pele e ossos de animais após a era glacial. Segundo Sharffer & Pauletti, depois das cavernas, a tenda é a mais antiga forma de moradia, existindo evidências de abrigos feitos com peles e ossos de mamute, com mais de 40.000 anos, na Ucrânia. (Sharffer, 1994; Pauletti, R., 2003).

b) Primeiras moradias fixas - período neolítico

No período Neolítico (aproximadamente 8.000 anos a.C.), com a descoberta da agricultura e a domesticação dos animais, nossos ancestrais deixaram de ser nômades, fixaram moradia e tornaram-se sedentários. A maioria dos antigos povos nômades tornou-se sedentária com a descoberta da agricultura. No entanto, ainda hoje subsistem sociedades nômades, como algumas tribos do Saara.

A atividade de coleta de alimentos durante um longo período contribuiu para o surgimento da agricultura, estabelecendo a fixação de assentamentos humanos. A vida sedentária criou condições de crescimento populacional. Um exemplo disto é o sítio arqueológico Vila *Banpo* data do período neolítico, encontrado na China. *Banpo* era uma sociedade agrícola, sua população viveu numa vila com aproximadamente cem casas, próxima à cidade de Xi' An, há aproximadamente 6.800 anos, no período Neolítico. As casas tinham estrutura de madeira, apoiada em base de pedra, telhado de palha, piso e paredes revestidos de terra misturada com palha.



Figura 8: Abrigos da Vila *Banpo*: fogueira central e base retangular e redonda (Fonte: Museu Banpo, em Xi' An, na China, em 2011)

No centro da casa havia uma ou mais fogueiras ou lareiras de terra que serviam também de aquecimento para o abrigo.

c) Primeiras moradias temporárias - Ártico

Os Iglus, típicos dos esquimós ou *inuits* há aproximadamente 3.000 anos, são abrigos indígenas do Ártico feitos de gelo. No verão, quando se tornam nômades, os esquimós se abrigam em tendas feitas com ossos e peles de animais, habitação típica também dos pastores nômades do Velho Mundo. No inverno, quando se tornam sedentários, sua habitação é o iglu, construído com blocos de gelo, que se mantém de pé somente no inverno e se dissolve na Primavera.



Figura 9: A) Abrigo de inverno (Fonte: Oliver, 2003) e B) Abrigo de verão. (Fonte: University of Louisville, Autor: O.D. Goetze, 2012)

Os iglus de gelo também eram abrigos temporários construídos pelos esquimós quando viajavam. Somente os do centro do Canadá e de suas ilhas do norte usavam os iglus, como abrigos permanentes de inverno. Essas casas de gelo eram grandes e podiam acomodar até vinte pessoas.

A forma arredondada do iglu ajuda a preservar o calor no interior do ambiente evitando que se concentre nos cantos. A fogueira acesa no centro

espalha calor uniformemente, e o gelo, que possui propriedade isolante térmica cem vezes maior que o alumínio, mantém o calor no interior conservando a temperatura estável. (Furukawa, 2012)

d) Tendras nômades do Saara – Os beduínos

Os caçadores e coletores não se fixavam em um lugar, viviam de forma primitiva, em grupos nômades, deslocavam-se constantemente em busca de recursos disponíveis. Viviam da caça e da coleta de frutos, vegetais, e raízes, dependiam da natureza para sobreviverem. Os povos nômades, de acordo com Siegal (2002), têm essa característica por várias razões: o estabelecimento de fontes migratórias de alimentos, adaptação às condições e mudanças climáticas, comércio de mercadorias, procura por proteção comunitária, e a busca pelo desconhecido.



Figura 10: A) Nômades pastores. (Fonte: Flickr; Autor: Hamed Saber, 2006); B) Tenda Preta de Beduínos no deserto da Síria (Flickr; Autor: Yeowatzup, 2010)

Os nômades são pastores, mudam de lugar constantemente sempre que se esgotam as pastagens. A domesticação de animais proporciona a mobilidade para os povos nômades, surgindo assim, a necessidade habitação portátil e fácil de montar, desmontar, e transportar.

As tendas dos Beduínos têm estruturas simples feitas de madeira e cobertas com peles de animais, cascas, tapetes, lã entrelaçada e mais tarde, tela entrelaçada. Sua estrutura tracionada e cobertura têm função estrutural, mas são tão leves que podem ser transportadas por apenas duas pessoas usam um mínimo de material. (Faegre, 1979). A principal parte da estrutura é a cobertura. Ela é estrutural, tracionada, esticada sobre dois, três ou quatro suportes de madeira erguidos em três fileiras, e fixada no solo com cordas e cabos de ancoragem.

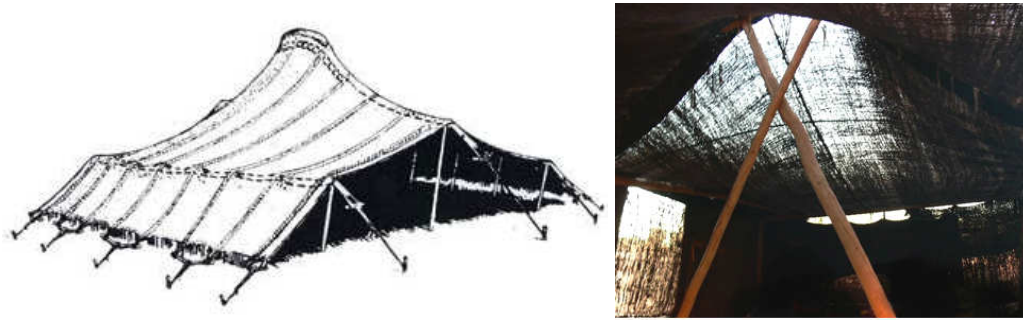


Figura 11: A) Cobertura estrutural tracionada; e B) Resfriamento passivo. (Fonte: Politécnico di Milano A) Autora: Francesca Focolari, 2008; B) Autor: T. Berger, 2005)

As tendas dos beduínos são pretas, feitas de pelo de cabra preto tecido em uma trama espaçada. Uma solução engenhosa para iluminar seu interior e permitir a passagem do ar. À medida que o sol incide sobre a cobertura preta, gera calor e o ar externo fica quente. Uma abertura na tenda provoca um fluxo de ar ascendente, que por convecção, suga o ar do interior para fora criando uma corrente e fazendo o ar circular para refrescar o interior da tenda, mesmo que não haja nenhuma brisa. E, se chover, a trama tecida com tripas de carneiro incha com a água fechando-a totalmente, como uma película de tambor.



Figura 12: A) Abertura para circulação de ar. B) Acampamento nômade no deserto. (Fonte: Politécnico di Milano; Autora: Francesca Focolari, 2008)

As maiores tendas podem chegar a 20 metros de cobertura com tecido retangular. Além da cobertura, as paredes são fechadas com um tecido suspenso ao longo do perímetro da tenda. O tecido da parede pode ser enterrado no chão ou, se necessário, enrolado para circulação de ar. (Kuusisto 2010, 23; Bahamon 2004, 32-33; Da Cruz 1996; Kronenburg 1995, 17-19).

e) Tendas nômades da América – teepes ou tipis

Na América, os habitantes primitivos construíam tendas conhecidas como *Tipis* ou *Teepees*, que no dialeto *sioux*, significa casa. As “*tipis*” eram feitas com galhos e couro curtido de búfalo e eram duráveis. Típicas de tribos nômades da época, no inverno proporcionavam conforto e aquecimento e durante chuvas pesadas, eram secas. No calor do verão eram frescas. Podiam ser desmontadas e empacotadas rapidamente e facilmente transportadas e reconstruídas quando a tribo decidia procurar outro lugar para se estabelecer. Essa portabilidade era essencial para o estilo de vida nômade. A tenda *tipi* é flexível, podendo mudar de forma de acordo com as condições meteorológicas. Pode ficar totalmente fechada, ter partes semi-abertas ou totalmente abertas para se ajustar às condições climáticas da ocasião. (Kronenburg, 1995).



Figura 13: Tenda *tipi* com abertura no alto; (Oglala Lakota tipi. Fonte: Wikipédia; Autor: Karl Bodmer, 2012)

A montagem das tendas *tipi* é feita com três ou quatro suportes de madeira amarrados no topo formando a estrutura principal. Outros suportes são colocados entre os principais para acomodar a cobertura de pele de animais, atualmente lona. Após a montagem, as emendas são costuradas para embrulhar a cobertura firmemente em torno da armação. A bainha da capa é coberta com terra para evitar que a tenda desmonte com o vento. (Kuusisto, 2010, 25; Berger 2005, 20-24; Habermann 2004, 18-45; Kronenburg 1995, 16-17).

Havia uma pequena fogueira colocada no centro da tenda para cozinhar ou para aquecer. A cobertura da *tipi* tem várias funções, uma parte é aberta para servir de entrada. Aberturas no topo e na porta, com aletas ajustáveis são usadas para ventilação. São fixadas perpendicularmente ao vento servindo de

guia, para evitar uma corrente descendente e para a saída da fumaça. O forro interno de tecido funciona como isolante térmico mantendo a tenda fresca no verão e aquecida no inverno.

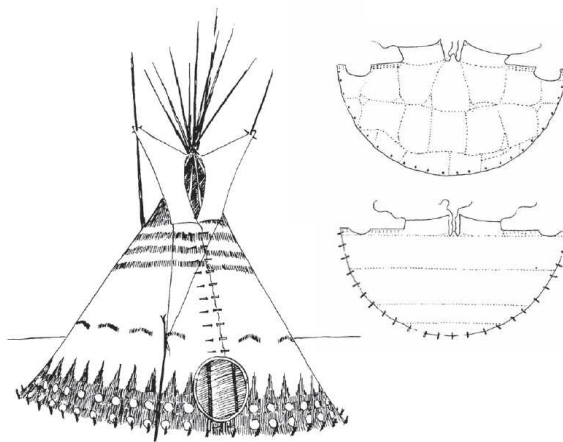


Figura 14: Cobertura não estrutural de pele e lona apoiada em estrutura de madeira (Kuusisto, 2010, p.26; Faegre, 1979, p.156)

f) Tendias nômades da Escandinávia - lavvu

As tendas temporárias utilizadas pela população *sami* do norte da Escandinávia conhecidas como *lavvu*, são utilizadas pelo menos desde o século XVII. A Figura 15 mostra uma típica família *sami* em frente a uma tenda *goahti* e no fundo uma tenda *lavvu* e suas estruturas são semelhantes às tipis, sendo a *goahti* é mais alongada que a *lavvu*.



Figura 15: Tenda *Goahti* em primeiro plano e Tenda *Lavvu* ao fundo (Fonte: Wikipédia; Autor: Photoglob AG Zürich, 2012)

Assim como nas tendas tipis, há uma fogueira no interior, o fogo é mantido quente o suficiente para aquecer e espantar mosquitos, além de preparar os alimentos. No alto há uma abertura para a saída da fumaça que pode ser

diminuído em dias frios, enrolando-se uma manta ao redor da abertura, e deixando-se apenas uma pequena saída. Para a fumaça não se acumular no interior de da tenda, deixa-se também uma abertura na altura do chão ou abre-se a porta para forçar a circulação de ar.

g) Tendras tuaregs de esteiras e fibras - Saara

As tendas dos *tuaregs* eram feitas geralmente por uma trama curva de cana recoberta por peles de cabra, ou esteiras de fibras de palma, sendo facilmente desmontadas e transportadas em camelos.



Figura 16: Tendras *tuareg*. A) Fonte: Louisiana State University, apud Vélez, 2005. Acesso: 30/03/2012; e B) Fonte: Jornal The Guardian, 2011, Autor: Dan Chung)

h) Tendras nômades *yurts* – Mongólia, Turquia, Sibéria

As tendas nômades encontradas entre os povos da Mongólia e da Turquia são denominadas *yurts*. Essa denominação, de etimologia turca, mais conhecida, foi introduzida pelos russos, porém os mongóis chamam de *gers*. Os *yurts*, ou *gers*, são típicos da Ásia Central e são utilizados desde a Sibéria e a Mongólia até o Irã, e por toda extensão até a Anatólia Ocidental, na Turquia. Estima-se que esse tipo de abrigo vem sendo usado há aproximadamente 2.500 anos. Os *yurts* da Ásia correspondem às tendas *tipi* da América do Norte. (Faegre, 1979, 79-98; Habermann, 2004, 18-45; Kronenburg, 1995, 19-21; apud Kuusisto, T.K., 2010). Os *yurts* representam a combinação perfeita entre portabilidade e integridade estrutural.

Construídos com bambu, palha e couro de animais, os *yurts* pesam muito pouco e são desmontáveis e facilmente transportáveis. Podem ser remontados rapidamente e dependendo do tamanho são montados facilmente em apenas

uma a três horas. As grades entrelaçadas de madeira ou bambu formam as paredes e apóiam as varas que servem de estrutura para a cobertura, conectadas por um anel central.



Figura 17: A) yurt turco. (Fonte: Wikipedia. Autor: Sergei Mikhailovich Prokudin-Gor, 2012). B) yurt mongol (Mongolia Attractions, 2012)

A cobertura é feita com várias camadas de peles de animais amarradas com corda, como mostra a Figura 18. As camadas são adaptadas ao clima da ocasião, podendo ser lubrificada para repelir a água da chuva, ou conter mantas grossas para isolar o frio, no inverno. (Kuusisto 2010, 25; Faegre 1979,79-98; Habermann 2004, 18-45; Kronenburg 1995, 19-21).



Figura 18: Montagem de um yurt Mongol. (Fonte: Wikipedia. Autor: Desconhecido, 2012)

Típicos do deserto de Gobi, os *gers* ou *yurts* pesam em média 250 kg e são fáceis de montar. Leva-se menos de uma hora para desmontar e colocar todos os pertences de uma família num caminhão ou no lombo de seis camelos ou cavalos. A porta sempre aponta para o sul, o fogareiro fica no centro e queima esterco para manter o fogo aceso aquecendo todo seu interior.



Figura 19: Transporte e Portabilidade. A) Camelo (Fonte: McGill University. Autor: Shoenauer, 2012; B) Caminhão transportando a tenda (Fonte: Blue Peak. Autor: Roger Gruys, 2012)



Figura 20: Gehr do deserto de Gobi, Mongólia. (Fonte: Panoramic Journeys, 2012)

i) Abrigo artesanal de junco trançado - Mesopotâmia

Na Mesopotâmia, entre os rios Tigre e Eufrates, a população árabe conhecida como marsh ou al ahwar, em árabe, que vive em uma região alagada entre o sul do Iraque e sudoeste do Irã, constrói sua habitação com junco trançado.

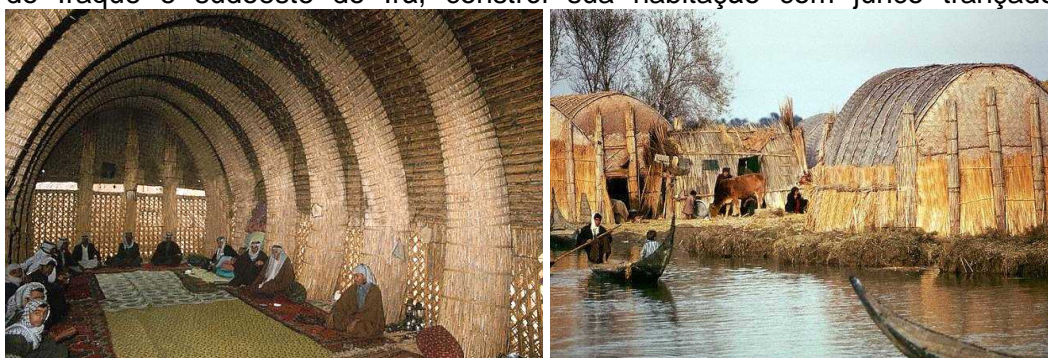


Figura 21: Tenda Árabe dos marsh - povos da Mesopotâmia (Fonte: Laputan Logic, 2012, Autor: Nik Wheeler)

O junco tem propriedades que variam de acordo com a quantidade de água contida em suas fibras. Assim como o papiro, no Egito, o junco fresco

contém muita água, que compromete sua flexibilidade. Arcos compostos por juncos frescos não resistem muito e poderiam colapsar em pouco tempo. Por isso, o junco usado para compor o núcleo de um feixe de arco é misturado a feixes retirados de arcos usados já desidratados para garantir a resistência da estrutura.

j) Abrigo artesanal de palha - Peru

Na América do Sul, os uros, um povo pré-colombiano que habita a região Puno, no Peru, vive em casas flutuantes no Lago Titicaca construídas com vegetação local, o totora³, uma planta herbácea aquática. Com essa planta eles constroem desde as próprias ilhas até as casas e barcos, tudo é feito com essa espécie de palha. As portas das casas são viradas para o centro para que os vizinhos se cumprimentem pela manhã. Em caso de desavenças, a ilha é cerrada para que as casas se desgrudem e se separem.



Figura 22: Habitação Flutuante dos uros (Fonte: Dornob Design Ideas, 2012; Autor Desconhecido)

k) Abrigo artesanal de terra – Camarões, Chad, Gana

Ao norte de Camarões, na África, próximo ao Lago Chad, há um povo conhecido como mousgoum com suas habitações capsulares construídas com terra. A estrutura é auto-portante com paredes muito finas, com cerca de 3 mm de espessura. A parte externa da estrutura de terra é feita com auto-relevos para desviar a água da chuva em várias direções evitando o desgaste. Ao mesmo tempo servem de acesso ao domo para manutenção.

³ Totora (do quechua tutura, *Scirpus californicus*) é uma planta herbácea aquática, da família das ciperáceas, comum regiões de pântanos da América do Sul. Seu talo mede entre um e três metros, dependendo da espécie. É utilizada tradicionalmente na construção de embarcações e ilhas flutuantes no Lago Titicaca e em algumas praias do Peru. (fonte: Wikipédia, 2011)



Figura 23: Tendas de terra, Camarões, África. A) (Egodesign, 2012, Autora: Fiona Meadows); e B) (Vitruvius; Autor: Gonzalo Vélez, 2005)

Os povos da etnia gurunsi que ocupa a região de Burkina Faso, ao norte de Gana, constroem sua habitação tradicionalmente com terra. Suas habilidades artesanais somadas às técnicas milenares resultam em formas, grafismos e cores de extrema beleza plástica, mostrada na Figura 24.

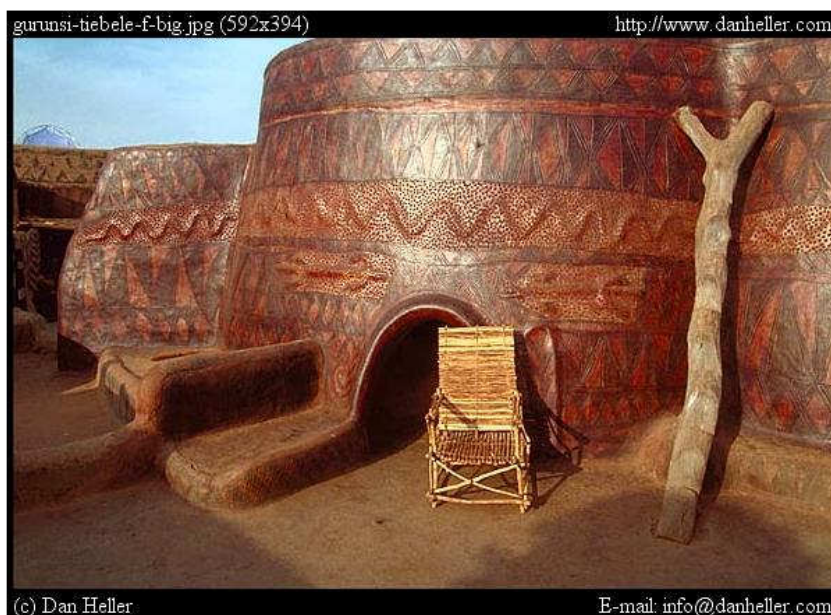


Figura 24: Habitação Gurunsi-tiebele, África (Fonte: Dan Heller, 2012)

I) Abrigo temporário artesanal de junco – Sudão

Alguns povos africanos utilizam abrigos feitos de esteiras de junco sobre estrutura de madeira bruta. No Sudão são utilizados como abrigos temporários nas estações secas, e são muito leves e fáceis de transportar. O material utilizado tem alto índice de inflamabilidade, e inadequado para climas úmidos.



Figura 25: Tendas de junco. A) Namíbia (Fonte: UNESCO apud Vélez, G. 2005); B) Sudão (Fonte: University of Wisconsin; Autor: Sharon Hutchinson, 2012)

m) Telhados artesanais portáteis de folhas de palmeiras – Chad, Camarões

Coberturas trançadas de folhas de palmeiras confeccionadas por artesãos com material local, leves e fáceis de transportar são encontradas nas regiões do Chad e Camarões.



Figura 26: Telhados de palmeiras: A) Camarões B) Chad (Fonte: University of Wisconsin, 2012)

n) Telhados artesanais desmontáveis de fibras têxteis - Roma

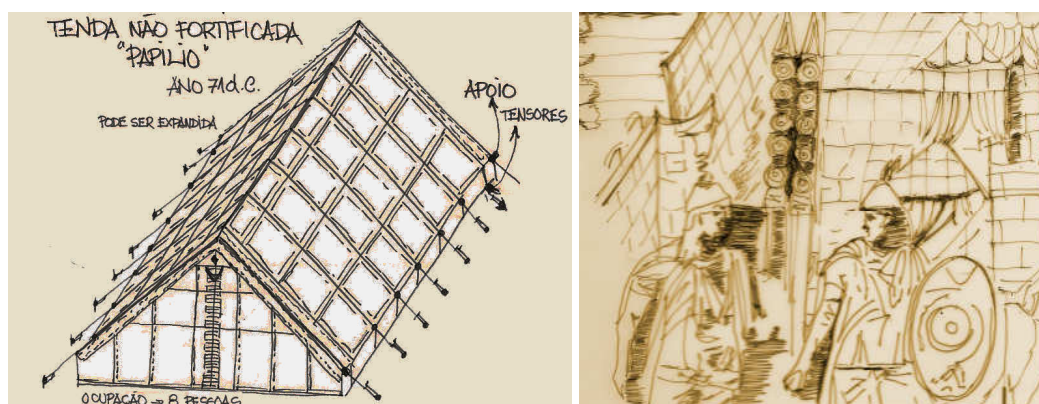


Figura 27: A) Tenda militar romana – “papilio” (Fonte: Politecnico di Milano, 2012. Editado pela Autora). B) Desenho da Autora

Nas investidas militares, há 2000 anos, os romanos usavam tendas desmontáveis. As primeiras tendas eram cilindro-cônicas, suspensas por um único mastro central. Depois, surgiu a tenda militar retangular expansível, o “papilio” (borboleta em italiano), nome dado pela forma de dobradura da tenda.

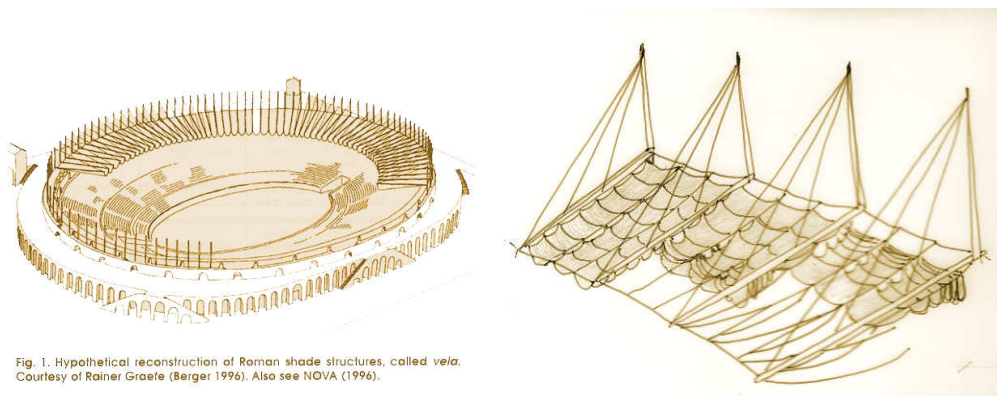


Fig. 1. Hypothetical reconstruction of Roman shade structures, called *vela*. Courtesy of Rainer Graefe (Berger 1996). Also see NOVA (1996).

Figura 28: A) Cobertura desmontável do Coliseu (Autor: Berger, 1996 apud Kuusisto, 2010) Editado pela Autora; e B) Velaria do Coliseu (Autor: Berger, 2005 apud Kuusisto, 2010). Editado pela Autora

Um exemplo clássico de estruturas desmontáveis é o Coliseu, ou Anfiteatro Flávio, em Roma, construído entre 70 e 82 d.C., inicialmente pelo Imperador Vespasiano e inaugurado por seu filho Tito, originalmente para 50.000 expectadores. As coberturas de linho, chamadas de velaria, consideradas um avanço tecnológico para a época, eram utilizadas para construção de espaços e eventos públicos, como a cobertura do Coliseu.

A estrutura composta de mastros horizontais e verticais era suspensa por marinheiros, familiarizados com cabos de navios. O tecido retrátil era montado para proteger o público das intempéries.

A cobertura retrátil do Coliseu, construído entre 70 e 82 a.C., é um dos primeiros exemplos de arquitetura desmontável conhecidos. Essa tecnologia foi provavelmente adquirida pela experiência de navegação dos romanos da época. O *velarium* era utilizado para proteger do sol um terço dos 50.000 expectadores do anfiteatro que assistiam aos espetáculos. (Hopkins, 2003, apud Mickutě, 2004).

Na Europa, após a queda do império romano, as tendas que serviam de abrigo nas incursões militares perderam a utilidade. Somente a partir do século XII, foram usadas nas guerras constantes que fizeram a história da Europa, nas celebrações e festas públicas, e tornaram a servir de abrigo.



Figura 29: A) Interior do Coliseu coberto B) Suporte da cobertura (Fonte: The Colosseum, 2012, Autor: Desconhecido). Editados pela Autora

o) Construções temporárias desmontáveis de fibras têxteis França

As cortes europeias, para demonstrar seu poder, faziam celebrações e utilizavam construções temporárias portáteis com coberturas têxteis para levar os espetáculos a diferentes lugares, dando início ao desenvolvimento do teatro. Nesse contexto encontra-se a Casa de Banquetes de Calais, na França, que foi erguida em homenagem a Henrique VIII, rei da Inglaterra, em 1520. Uma tenda circular, cônica com dimensões impressionantes para a época, tinha 37 metros de diâmetro e 40 metros de altura. (Figura 30B)

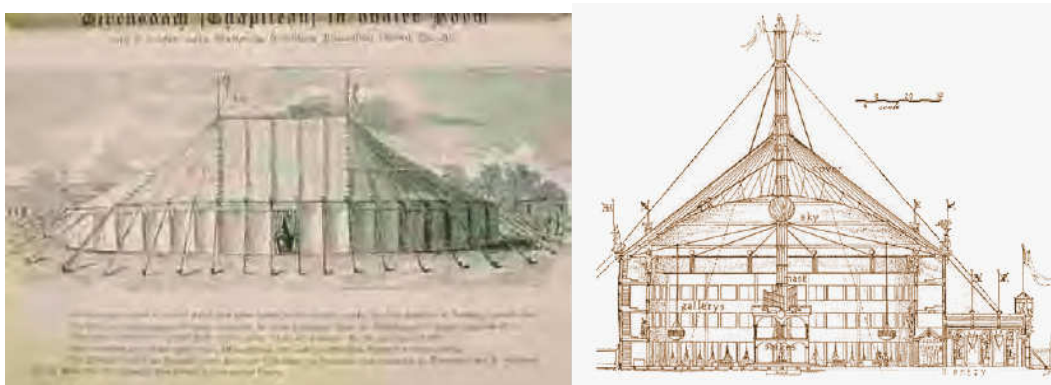


Figura 30: A) Tenda de circo - Chapiteau (Forster, 1994 apud Pauletti, R.; e B) Tenda cônica - Casa de Banquete - Calais, França (Kuusisto, 2012 apud Kronenburg, 1995)

Nenhuma inovação aconteceu até a Revolução Industrial, quando mastros múltiplos foram usados nos tradicionais pavilhões e nos circos itinerantes, na Europa e nos Estados Unidos, no século XIX.

Após 1860, as ferrovias americanas propiciaram os deslocamentos desses grupos de espetáculo, que passaram a se apresentar nos pavilhões desmontáveis de lona, tendo levado essa modalidade em uma apresentação em

Paris, do primeiro Railway Circus americano, em 1867, (Figura 30A) e a partir daí se espalhou pela Europa. (Harvie, G., 1996, Chapter 2).

p) Construção temporária desmontável de ferro e vidro - Inglaterra

A Revolução Industrial desencadeou a construção de ferrovias que viabilizou o transporte de materiais para longe de sua origem, tornando a construção independente do uso de materiais locais. (Grisotti, 1965, citado em Greven, Helio A., Baldauf, Alexandra S. F, 2007).

Os processos industriais possibilitaram a fabricação em grande escala de materiais como o ferro fundido e o vidro abrindo um novo horizonte na arquitetura. No séc. XIX, em 1851, na Inglaterra, há 150 anos, uma construção desmontável, em ferro fundido e vidro foi um grande marco da tecnologia das construções desmontáveis, o Palácio de Cristal.



Figura 31: Palácio de Cristal, Londres, Inglaterra. (Fonte: Wikipedia; Autor: Dickinson's: "Comprehensive Pictures of the Great Exhibition of 1851")

Construído em apenas seis meses (Gascoigne, 2001), para a Grande Exposição de 1851 no Hyde Park, em Londres. Sua estrutura montada no local, composta por peças pré-fabricadas modulares de ferro fundido e painéis de vidro, a tecnologia utilizada no Palácio de Cristal foi pioneira na construção de prédios desmontáveis, projetado por Joseph Paxton. O pavilhão de 71.500m² foi totalmente pré-fabricado, construído com componentes montados no próprio canteiro. O módulo básico era o painel de vidro que media 2,40 metros, determinando toda a malha da edificação com múltiplos dessa medida. (Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum, 1972, citado em Greven, Helio A., Baldauf, Alexandra S. F, 2007). Após a exposição, o prédio foi desmontado e

montado novamente num parque em uma área nobre da cidade de Londres onde permaneceu até sua destruição por um incêndio, em 1936.

q) Modularização - Grécia

A modularização já era utilizada desde o século I a.C pelo arquiteto romano Vitruvius e pelos gregos. Historicamente, o uso do módulo aparece na Arquitetura em uma interpretação clássica dos gregos, por uma abordagem estética; dos romanos, sob um aspecto estético-funcional; e dos japoneses sob um caráter funcional. (Rosso, 1976, citado em Greven, Helio A., Baldauf, Alexandra S. F, 2007). Para os gregos, o diâmetro da coluna era o módulo básico de toda a construção. E a partir da coluna, as demais peças: fuste, capitel e a base, eram dimensionados, assim como o espaço entre as colunas.

Os componentes eram “pré-fabricados” para serem posicionados posteriormente nos lugares definitivos. O vão entre as colunas das esquinas é reduzido para que os componentes modulares pré-fabricados do mesmo tamanho se encaixem perfeitamente, como mostra a Figura 32. (Nissen, 1976 citado em Greven, Helio A., Baldauf, Alexandra S. F, 2007).

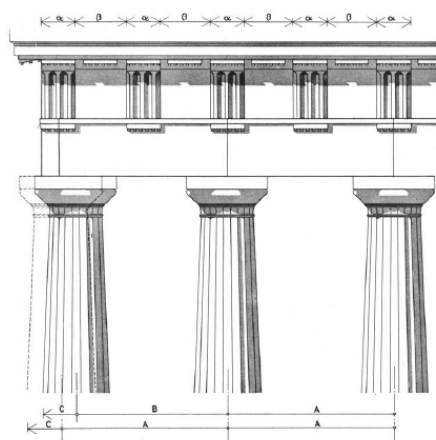


Figura 32: Colunata grega modular, esquina diferenciada. (Fonte: Nissen, 1976, apud Greven & Bauldauf, 2007)

r) Modularização - Roma

Os romanos projetavam as cidades e as edificações utilizando um módulo quadriculado conhecido como *passus romano* tendo como base a medida antropométrica do pé multiplicada. Baseados nessa medida fabricavam os tijolos com duas medidas básicas: *bipetalis* e *sesquipetalis* (Rosso, 1976, citado em Greven, Helio A., Baldauf, Alexandra S. F, 2007). Baseados nesses módulos, os romanos produziam os materiais de construção, como tubos cerâmicos, telhas,

tijolos, colunas, ladrilhos e também os objetos como ânforas, copos e pratos. A tecnologia romana era muito avançada e a modulação que utilizavam já considerava as juntas e a sobreposição de peças, assim como não havia um módulo, mas uma medida padrão e os componentes eram múltiplos dessa medida, o *ratio symmentrarum*. Dessa forma, os romanos aplicaram uma modulação flexível desde o pequeno componente até as grandes cidades. (Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum, 1972, citado em Greven, Helio A., Baldauf, Alexandra S. F, 2007).

s) Modularização - Japão

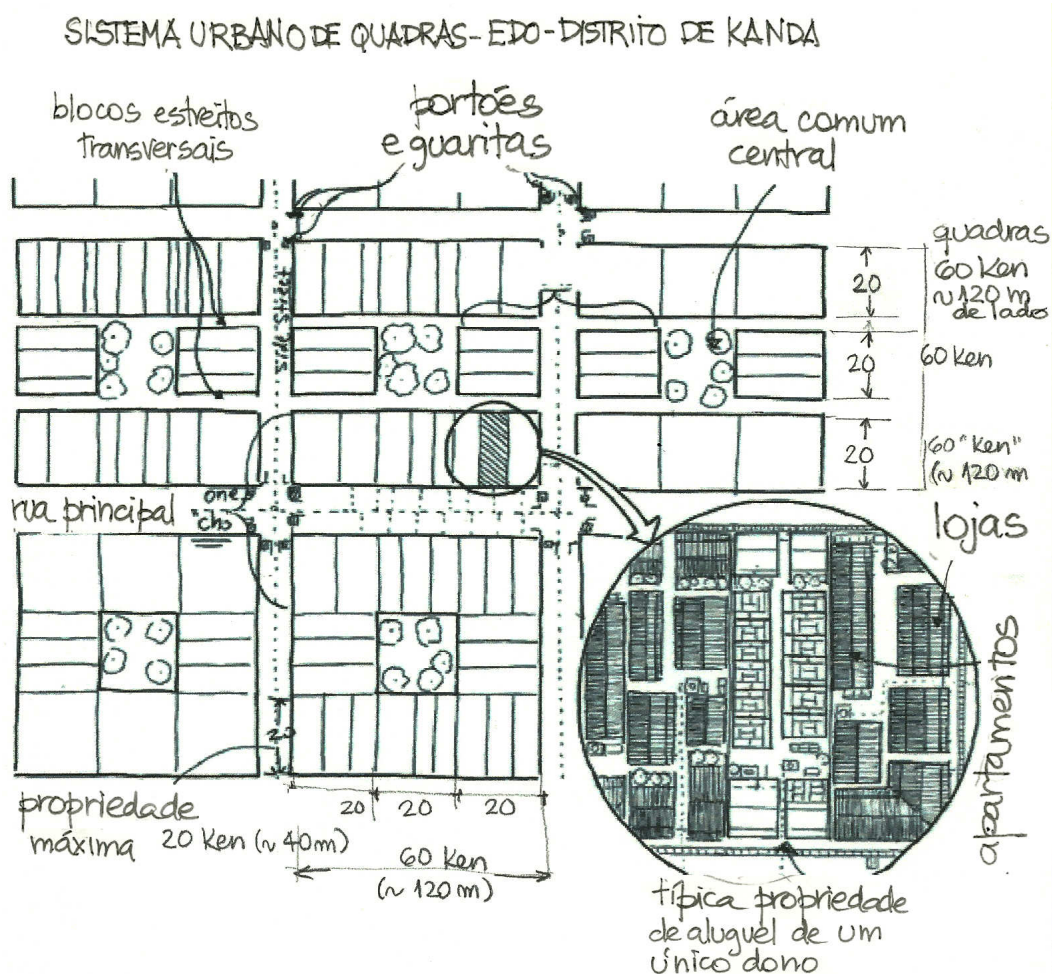


Figura 33: Traçado urbano do período Edo, Japão (Autor: Azby Brown, *Just Enough*, p.123-4, 2009. Traduzido e adaptado pela Autora)

A medida padrão dos japoneses desde a segunda metade da Idade Média é o *ken*, baseada no tatame. O tatame cobre o piso de todos os espaços internos das edificações no Japão ditando a modulação de toda a edificação. Dimensionado inicialmente para acomodar duas pessoas sentadas ou uma dormindo, na proporção 1:2, podiam ser distribuídos em diferentes posições e

dimensões de habitação. O pé-direito (altura de teto) era calculado em função da quantidade de tatames de acordo com a seguinte equação: pé-direito=número de tatames x 0,3 (Ching, 1998, citado em Greven, Helio A., Baldauf, Alexandra S. F, 2007).

Um *shaku* mede cerca de 30 cm em comprimento, a medida exata de um pé imperial. Um *ken* são seis *shaku* (1,80 m). As casas populares medem de largura, ou nove *shaku* (1,5 *ken*), ou dois *ken*. No período Edo, em referência à antiga capital do Japão, entre 1603 e 1868, a sustentabilidade já havia sido alcançada no Japão nas áreas de silvicultura, agricultura, arquitetura, planejamento urbano, transporte, uso de energia e materiais sustentáveis. (Brown, Azby).

t) Pré-fabricação – construção em série

Nos anos 1920 e 1930, de acordo com Meindert Versteeg (apud Kronenburg, 1995), a pré-fabricação de componentes transformou os métodos construtivos que devido aos novos materiais como tubos de aço, plásticos e compensados de madeira puderam ser automatizados como numa linha de montagem da indústria automobilística. Como declarou Le Corbusier em 1921, as casas deveriam ser produzidas em série, em fábricas, com linhas de montagem como a Ford montava seus automóveis. (Chemillier, 1980, citado por Greven, Helio A., Baldauf, Alexandra S. F, 2007).



Figura 34: Mercado Ver-o-Peso, Belém, Pará. (Wikipedia; Autor: Mauricio Mercer, 2007)

Este método, conhecido como “*kits-of-parts*”, é constituído pela construção a partir da montagem de peças pré-fabricadas. A estrutura montada com componentes pré-fabricados produzidos em série possibilitava a montagem e desmontagem com muita rapidez, além de baratear o custo e facilitar o

transporte para povoar as colônias da África do Sul em busca de minas de ouro e diamantes, e da América do Sul, construindo estações ferroviárias, mercados e fábricas.

O módulo-base, representado universalmente por “M” e adotado pela maioria dos países é o decímetro (10 cm) inclusive no Brasil, publicado pela NB-25R. Em Belém, Pará, o Mercado Ver-o-Peso (1899) foi construído com estrutura de ferro trazida da Europa, como mostra a Figura 34. Essa novidade tecnológica foi empregada, e culturalmente aceita, em edificações públicas e temporárias como pavilhões de exposições, estações ferroviárias, entre outras. Atualmente o ferro foi substituído pelo aço e o vidro pelo policarbonato ou vidro temperado, mas no mercado de edificações residenciais há dificuldade de aceitação e ainda predominam o concreto e alvenaria, ou madeira nos países do hemisfério norte.

u) Pré-fabricação – abrigos militares

No século XX, abrigos militares emergenciais foram construídos para a 2ª Guerra Mundial. As guerras, ao mesmo tempo em que causam destruição, propiciam avanços tecnológicos pela necessidade emergencial de novas soluções. Na Inglaterra surgiram os abrigos projetados pelo engenheiro britânico Peter Norman Nissen (1871-1930), mais conhecidos como *nissen hut*, esses abrigos foram amplamente utilizados como abrigo para militares na 2ª. Guerra Mundial.



Figura 35: Abrigo nissen. A) e B) Montagem (Fonte: Langham, 2012); C) Peças desmontadas (Fonte: News Domain, 2012)

Construído com estrutura pré-fabricada de aço e cobertura de chapa corrugada de aço, em forma de galpão com aproximadamente 53,00m² (16'x 36'). Fácil de transportar, desmontável, o *nissen hut* era apropriado para a finalidade a que se destinava, abrigo militar. Podia ser montado e desmontado por poucas pessoas em pouco tempo e não necessitava de máquinas para suspender as peças. No Brasil ainda há exemplares destes abrigos trazidos

pelos americanos para sua base em Fernando de Noronha, na 2ª. Guerra Mundial. Atualmente são utilizados para moradia ou comércio na ilha oceânica.

Porém, em temperaturas extremas como o frio intenso ou o calor dos trópicos, a utilização de chapas de aço não é adequada, pois não funcionam bem como isolante térmico. Outra dificuldade que se pode apontar é que àquela época não existia a tecnologia moderna para controlar a deformação das chapas corrugadas e isso se tornou um problema na fabricação desses abrigos. As chapas eram friccionadas por grandes rolos diversas vezes até atingirem o ângulo desejado. Além da dificuldade de execução havia o problema do ruído que causava.



Figura 36: Abrigos remanescentes da 2ª Guerra, atualmente usados como residência. (Fernando de Noronha, Brasil, Junho de 2012)

v) Pré-fabricação – Brasil

No Brasil não há a cultura da construção pré-fabricada, ainda existe muito preconceito em relação à qualidade e à estética. Além disso, a indústria de materiais de construção não segue uma padronização dimensional dos componentes dificultando ainda mais o planejamento e gerando mais resíduos.

Nos anos 70 e 80 houve incentivo do Banco Nacional da Habitação, do Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum (CBC) e das Universidades para o desenvolvimento da construção modular, mas apesar do Brasil ter sido um dos primeiros países do mundo, em 1950, a aprovar uma norma de Coordenação Modular, a NB-25R, a construção civil brasileira ainda é predominantemente artesanal, com intensa produção no canteiro de obras, com altos índices de desperdício associados à baixa produtividade. (HABITARE, 2007).

2.3. Estado-da-arte: procedimentos sócio-econômicos e ambientais do fornecimento de abrigos emergenciais e aspectos técnicos

"Nero neste momento estava em Antium, e não retornou a Roma até que o fogo se aproximasse de sua casa, que ele havia construído para ligar o palácio, com os jardins de Mecenas. No entanto, para aliviar o povo, expulsos e desabrigados como estavam, Nero abriu o Campo de Marte e os edifícios públicos de Agripa, e até mesmo seu próprio jardim, e levantou estruturas temporárias para receber a multidão indigente. Suprimentos de alimentos foram trazidos de Ostia e das cidades vizinhas, e o preço do milho foi reduzido para três sestércios."

Tácito - Anais / Livro 15 - escrita em 64 dC após o incêndio de Roma. Um dos primeiros exemplos do fornecimento de abrigos de emergência.(apud Shelter Projects, 2009).

O fornecimento de abrigos após desastres ambientais no mundo inteiro é basicamente coordenado pelas instituições governamentais, ONGs e Entidades Humanitárias. Num primeiro momento as pessoas socorridas são alojadas em prédios públicos, ginásios, escolas, templos religiosos e casas de parentes e amigos. Passados os primeiros dias há uma realocação e as pessoas são acomodadas em tendas temporárias até que cheguem as equipes para organizar e auxiliar na reconstrução das áreas afetadas.

Dentre as diferentes abordagens de restabelecimento das famílias detalhadas, percebe-se que há um incentivo à utilização de materiais e mão-de-obra locais, ou dos próprios futuros moradores. Tanto no procedimento de distribuição de materiais como no de fabricação de blocos de terra, pode-se notar que a qualidade dos abrigos produzidos está muito aquém daqueles mostrados neste histórico, onde a técnica artesanal e a beleza estética são visivelmente superiores como se pode comparar com os exemplos mostrados de projetos implantados atualmente.

Abrigos emergenciais desempenham um papel vital para a sobrevivência após desastres ambientais. Sua principal função é proteger contra o frio, calor, vento e chuva. Além dessa função básica de proteção, os abrigos emergenciais guardam pertences, e são também pontos de partida para ações futuras de salvamento e reconstrução. Estando abrigado, o indivíduo passa a ter segurança pessoal e privacidade. Além da reorganização social, os abrigos trazem confiança e dignidade ao desabrigado que passa a ter um endereço para recebimento de medicamentos e alimentação.

2.4. Procedimentos de organizações e entidades de ajuda humanitária

A partir da experiência em eventos ocorridos, entidades de ajuda humanitária, governos, organizações não governamentais, voluntários, setores privados, procurando oferecer ajuda humanitária, criaram guias e procedimentos para socorrer pessoas desabrigadas em situações de emergência no mundo inteiro. Consórcios formados por entidades de ajuda humanitária como: DFID ECHO IFRC, *Red Cross Oxfam GB*, *Shelter Centre*, *Sphere Project The Sphere Project* UN/OCHA, UN-Habitat UNHCR USAID/OFDA, *entre outros*, publicaram diretrizes e procedimentos de socorro em situações emergenciais que serão citados no decorrer deste trabalho. De acordo com a UNDRO (*United Nations Disaster Relief Organization*), os procedimentos para o gerenciamento da realocação das pessoas afetadas são compreendidos nas seguintes fases: (Undro-shelter3-jul82, p. 9). Pré-desastre; período de ajuda imediata (até 5 dias após o desastre); período de reabilitação (do 5º. dia até 3 meses); e período de reconstrução (3 meses em diante).

2.4.1. Fases

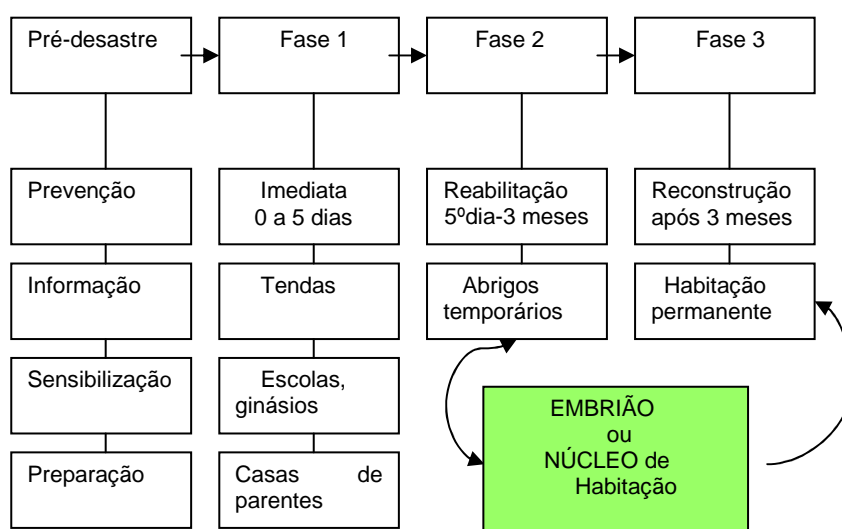
Pré-Desastre - Período de redução e mitigação de riscos;

Fase 1 - Resgate - Período de ajuda imediata (até cinco dias após o desastre);

Fase 2 - Preparação - Tendas dão lugar a casas pré-fabricadas temporárias, que têm de 12 a 20 m² e são construídas em áreas cedidas pelo governo;

Fase 3 – Reação-balanço da destruição, planejamento das ações futuras;

Fase 4 – Recuperação - O objetivo é voltar à situação de antes do desastre.



Neste estudo procuramos desenvolver um abrigo do tipo embrião que é um núcleo de habitação. O objetivo foi criar um abrigo temporário para abrigar até cinco pessoas, que possa ser acrescido e se tornar uma habitação permanente, acrescentando-se novos módulos, e que ao mesmo tempo, possa ser desmontado e transportado para outro lugar onde houver necessidade.

2.5. Modelos de abrigos e projetos realizados

O guia *Shelter after Disaster - Guidelines For Assistance* publicado pelas Nações Unidas (*UN Department of Humanitarian Affairs*), *Office of the United Nations Disaster Relief Co-Ordinator*, classifica os abrigos em oito tipos básicos.

a) Tendas

O fornecimento de tendas para o período subsequente ao desastre é o procedimento mais utilizado atualmente. As tendas, por suas características práticas, como facilidade de armazenamento, transporte, montagem e principalmente pela temporalidade inerente a esse tipo de abrigo, são projetadas para durarem por um período determinado, visando a retirada das pessoas dessa situação num breve espaço de tempo, ao contrário de abrigos improvisados.



Figura 37: Desabrigados do terremoto da Turquia (Fonte: R7 Notícias, 2011)

Limitações:

Não são indicadas para locais em condições extremas de temperatura no inverno. São muito pequenas para as necessidades das famílias e não podem ser aumentadas. Os custos de transporte das tendas importadas, mais o custo das tendas propriamente ditas, poderão ser maiores do que reconstruir uma casa normal, tradicional, principalmente em países de clima quente e úmido. As tendas se deterioram rapidamente quando expostas ao tempo. Geralmente ocorre sub-ocupação, porque em muitos casos, as famílias relutam em deixar suas propriedades com medo de perder suas colheitas, seus animais, ou até mesmo a propriedade de suas terras, por estarem desocupadas. E, nestes casos, os desabrigados preferem permanecer perto de suas casas danificadas ou destruídas.

b) Modelos e unidades importadas

Esse tipo de abrigo é indicado para climas extremos, ou locais onde há risco de exposição ao tempo, em invernos rigorosos. Pessoas do mundo inteiro, universidades, indústrias, arquitetos, agências voluntárias oferecem centenas de tipos de abrigos, porém, poucos foram realmente usados em áreas afetadas por desastres, pois utilizam materiais ou soluções próprias para países desenvolvidos. Exemplos:



Figura 38: Igloo Satellite Cabin (Fonte: Inhabitat, 2013; Autor: Petra)

Limitações:

Alto custo, a tecnologia empregada em geral é inadequada para a realidade local, e a montagem das unidades requer *know-how* especializado, difícil de ser encontrado ou inexistente. Os custos de transporte e dos meios de distribuição são elevados. São difíceis de manter porque não há disponibilidade do material utilizado para reposição, e não são adequados para as

características climáticas locais nem para se conectarem a outros acréscimos. (Undro-Shelter2-jul82.pdf, p. 28)

Nas situações de uso de construções transportáveis e pré-fabricadas fornecidas para situações temporárias que superam o padrão da vida anterior da população abrigada, há uma propensão dessas pessoas se fixarem no local de abrigo, conformando um novo assentamento permanente que pode vir a se transformar em subhabitação.

c) Modelos-padrão utilizando materiais locais

Nessa linha de ação, a de intervenção é mínima. As organizações de ajuda humanitária, somente atuam para dar suporte à vida, evitando gerar dependências externas e também para que as pessoas afetadas queiram voltar às suas casas pregressas. A Construção *in loco* utilizando materiais e técnicas disponíveis no local e a mão-de-obra geralmente dos próprios desabrigados é incentivada para estimular a colaboração e socializar esses indivíduos.

Construções de terra como o “*superadobe*” (*sandbag*) é uma construção de terra que utiliza terra crua, lama e pedra, disponíveis no local. Não há utilização de materiais industrializados. A função dessa estrutura é a construção de habitação permanente.



Figura 39: Vila Emergencial de superadobe. (Fonte: Cale Earth, 2011)

A tecnologia do *superadobe* é constituída por sacos de areia e arame farpado. A produção é simples, inspirada nos métodos de construção de barricadas para defesa em conflitos armados e diques temporários para controle de enchentes. Esse conceito foi apresentado primeiramente para a NASA pelo

arquiteto Nader Khalili para a construção de bases na Lua e Marte, o “velcro-adobe”.

Na África, parte leste do Chad, os refugiados de Darfuri construíram suas casas produzindo os tijolos de lama. As tendas fornecidas pelas Nações Unidas foram danificadas pelo tempo e condições climáticas. A área que eles vivem é quase totalmente desprovida de vegetação, possibilitando a retirada de material para a construção dos abrigos. (Thacher, James - Calearth.org, 2011).



Figura 40: Dadaab, Kenya, África. (Fonte: Shelter Projects 2009, p.23, Autor: Jake Zarins)

Limitações:

O tempo de construção das unidades residenciais é extremamente longo. Geralmente uma pequena parcela das famílias é beneficiada com esse tipo de moradia, porque não é possível mobilizar os voluntários pelo tempo necessário para construir todas as residências. Além disso, a tecnologia de construção é rudimentar resultando em edificações precárias que em pouco tempo se tornarão insalubres e inóspitas. O custo de pessoal qualificado para prover assistência técnica e transferir tecnologia é muito alto, inviabilizando o acompanhamento contínuo das obras. Alguns autores defendem que disseminar essas técnicas nos povoados menos favorecidos para que possam ter autonomia para construir suas próprias casas é a forma correta de prover habitação. Porém, voltar ao passado transferindo tecnologia, mesmo que seja para levar esse conhecimento aos lugares mais longínquos pode muitas vezes custar mais caro do que transportar soluções prontas. Principalmente em situações de emergência após desastres ambientais ou catástrofes onde há um grande número de desabrigados com necessidade urgente de se alojar, não há exeqüibilidade para construções artesanais.

d) Habitações temporárias

Habitações Temporárias geralmente são fornecidas por governos ricos. Podem ser extremamente caras quando usadas somente por um curto espaço de tempo. A finalidade das unidades temporárias é fornecer abrigo por alguns meses, ou mesmo anos, substituindo habitações permanentes até a reconstrução das moradias afetadas.



Figura 41: Unidades pré-fabricadas, L'Aquila, Itália, 2009 (Shelter Projects, 2009, p.62)

Após os terremotos na Itália em 1976 e 1979, unidades pré-fabricadas serviram de habitação temporária durante o período de reconstrução e foram totalmente substituídas pelas moradias definitivas.

Os abrigos de Kobe projetados pelo Arquiteto japonês Shigeru Ban são feitos com tubos de papelão colados com fita de esponja impermeável para isolamento térmico, e as fundações com sacos de areia dentro de engradados de cerveja doados. Este tipo de abrigo também é fabricado em série e se aproxima mais de uma unidade habitacional do que os abrigos do Afeganistão. Porém deve-se avaliar se o custo dessa habitação temporária é uma alternativa viável, pois não poderá ser aproveitada depois.



Figura 42: Abrigos emergenciais. A) Abrigo de papelão - Kobe, Japão, Arquiteto Shigeru Ban; e B) Abrigo de papelão - Turquia, Arquiteto Shigeru Ban. (Fonte: Shigeru Ban, 2012)

Limitações:

Em países pobres esse procedimento é economicamente inviável. Habitações temporárias em países em desenvolvimento podem ser mais caras que habitações permanentes. O custo de reposição é muito alto e inevitavelmente se tornam permanentes mesmo tendo sido projetadas para ter um ciclo de vida curto. Analisando alguns casos observamos que essas habitações que deveriam ser temporárias se tornam permanentes causando problemas como a criação de favelas, assim como ocorre com a construção desassistida de moradias, ou seja, sem o devido acompanhamento técnico.

“Em ocasiões onde a reconstrução das habitações ultrapassa seis meses, a moradia no abrigo temporário se torna mais permanente do que provisória.” (Barbosa, 2011).

Os agricultores de alguns países da América Latina e Índia, atingidos por desastres naturais, preferem as habitações temporárias localizadas próximo às moradias destruídas para vigiar as propriedades e fazer a colheita.

e) Distribuição de materiais

Abrigos emergenciais feitos de materiais locais são úteis e necessários em campos de refugiados de guerras civis, mas sua eficácia após desastres naturais parece limitada. Muitos grupos de assistência acham que a solução para o fornecimento de abrigo é fornecer os materiais de construção ou máquinas para produzir esses materiais. Em Sozmakala, no Afeganistão, os materiais foram distribuídos em conjunto com a transferência de tecnologia para a fabricação em série de abrigos que foram montados no local como mostra a Figura 43.



Figura 43: Abrigos emergenciais montados no local. Sozmakala, Afeganistão. (Fonte: *Shelter Projects*, 2009; Autor: Shaun Scales)

Porém, a expectativa das pessoas afetadas era receber uma casa completa, feita de tijolos e com janelas e ficaram desapontados com as tendas

que receberam instaladas num acampamento sem privacidade onde não possuíam a propriedade do terreno.

Em contraste com a distribuição de materiais, com suporte técnico, no mesmo evento, após o terremoto de 2006, em Java, Jacarta, Indonésia, as pessoas que não tiveram suporte técnico receberam materiais como: plástico, lonas e varas de bambu e ergueram abrigos precários como mostra a Figura 44.



Figura 44: A) Distribuição de materiais e autoconstrução. Sri Lanka, 2007; B) Auto-construção na Somália (Fonte: Shelter Projects, 2009, Autor: Joseph Ashmore)

Limitações:

A necessidade de materiais de construção após o desastre ambiental, somado com o incentivo ao consumo de materiais locais, provoca um aumento acentuado na demanda, comprometendo a disponibilidade de materiais locais, e conseqüentemente aumentando seu valor e desencadeando uma disparada nos preços.

Embora do ponto de vista social e cultural seja adequada, esta abordagem exige uma política de controle de preços eficaz. A distribuição de materiais sem suporte técnico para a construção dos abrigos resulta em habitações insalubres. A precariedade das instalações e a insalubridade afetam a saúde dos moradores.

f) Embrião ou núcleo de habitação

Programas habitacionais podem levar muitos anos para serem concluídos, em especial quando implantados em larga escala.

No projeto de Ruanda (*Shelter Projects 2009*, A13, p. 16) foram necessários dois anos para construir 220 casas. A velocidade de construção de abrigos duráveis pode deixar uma lacuna, com famílias em abrigos de emergência por muitos anos. Abrigos temporários têm o objetivo de preencher essa lacuna. (*Shelter Projects 2009*, p. 10).

A mais rápida distribuição de itens de abrigo durou dois meses. Abrigos temporários levam ainda mais tempo para serem implantados. Em Jacarta-Indonésia (2006) conhecido como sendo relativamente rápido, foram necessários 12 meses para construir 75 mil abrigos temporários.

Núcleo de habitação – célula mínima pronta para ser acrescida posteriormente pelos usuários.

Esse tipo de abrigo é adequado para habitação temporária podendo ser desmontado e montado em outro lugar ou ser acrescido e se tornar uma habitação permanente. Porém nesse caso, há necessidade de retirada dos escombros do local que será implantado, caso não haja remanejamento dos desabrigados de seus locais de origem.

O abrigo proposto neste trabalho se enquadra nesta categoria.

Podemos apontar algumas diferenças entre o abrigo temporário e as soluções comumente utilizadas em situações de emergências após os desastres, conflitos ou calamidades, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Pontos fortes e fracos do abrigo temporário em relação à outras soluções

Pontos fortes	Pontos fracos
Muito mais durável que as tendas	Não é uma solução imediata
Seguro, saudável, privativo, digno	Custo com transporte pode ser alto
A aquisição de materiais impulsiona a economia	Pode faltar material no comércio local ou alavancar os preços dos materiais
Ensina técnicas de construção à população	Necessita de mão-de-obra para erguer
Pode se tornar uma habitação permanente	Custo imediato maior do que das tendas
Pode ser transportado para o local definitivo	Sem suporte técnico pode se tornar subhabitação
Os recursos gastos não são desperdiçados	Caso falem recursos pode se tornar subhabitação

2.6. Portabilidade e mobilidade – técnicas adequadas para emergências e espaços transitórios

O abrigo temporário deve ser projetado de maneira que possa ser transferido para outro lugar. Para isso deve ser fácil de desmontar e transportar para o terreno do próprio beneficiário quando este puder retornar. O projeto

deverá contemplar uma solução durável para que possa ser aumentado mais tarde. Benfeitorias também poderão ser incorporadas após a transferência do abrigo para o lugar definitivo, para transformá-lo em habitação permanente. (*Transitional Shelter Guidelines*, p.12).

Através da história pudemos observar que a arquitetura portátil foi solução para diferentes etapas da civilização. A portabilidade tem se mostrado uma solução apropriada para resolver problemas emergenciais de forma imediata. As mudanças no habitat humano são acompanhadas por um conjunto de fatores, como: tecnologias construtivas que evoluem, novos materiais que são descobertos, ou maneiras novas de se usar materiais antigos, e idéias inovadoras que surgem com a necessidade de novas soluções, não necessariamente nessa seqüência.

De acordo com Kronenburg (2003), as escolas de arquitetura sempre ensinaram que as edificações devem ser estáticas, fixas e sem movimento, paradas no tempo e no espaço. Algumas soluções práticas como habitações transportáveis e abrigos temporários foram mal vistas no século XX por causa da sua mobilidade. Porém, a portabilidade tem sido a solução para diversas situações de emergência nos dias atuais. Podemos citar além das habitações temporárias para desastres ambientais e conflitos, os escritórios temporários, instalações para funcionários em canteiros de obras, exposições, feiras, alojamentos para atletas, unidades de saúde, atendimento ao cidadão, e grandes eventos em geral.

Segundo Kronenburg, “arquitetura portátil”, significa poder desmontar partes ou unidades estruturais, transportar e montar novamente em outro lugar. Ele classifica as edificações portáteis de acordo com sua portabilidade e sua forma de montagem nos seguintes tipos: módulos (*module*), pacotes (*flat-pack*), tensionados (*tensile*) e infláveis (*pneumatic*).

2.6.1. Módulos (*module*)

a) Produzidos em fábrica e transportados inteiros para o local de destino, são entregues prontos e montados. São compostos por unidades independentes, prontas para o uso, bastando conectá-las às redes: elétrica, de água e esgoto. Podem conter o mecanismo de transporte. Usado frequentemente em instalações militares, como o exemplo da Figura 45, utilizado pela força aérea norueguesa- *International Security Assistance Force* (ISAF), no Afeganistão.



Figura 45: Módulo. A) Abrigos containeres da ISAF; B) Treysan (Fonte: Army Technology, 2012)

b) Compostos por unidades modulares constituídas por partes, que podem ser acrescentadas por outras unidades, de acordo com a necessidade. As unidades são montadas em fábrica, e podem ser transportadas por terra, ar e mar (caminhões, embarcações, aviões, helicópteros, etc).

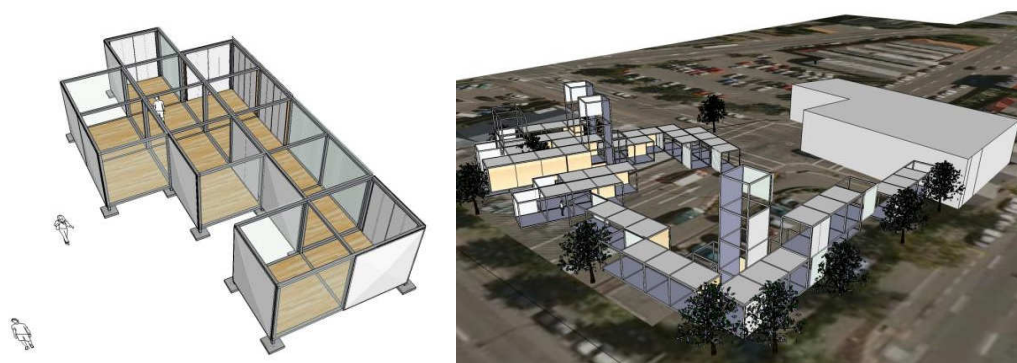


Figura 46: Módulos por partes (Fonte: The Big Idea, 2012)

2.6.2. Pacotes (*flat-pack*)

São pacotes formados por componentes modulares provenientes de construções secas, que podem ser ampliadas e conectadas a outros módulos. São produzidos em fábrica e transportados desmontados em pacotes que são montados no local. Essas estruturas podem ter montagens complexas, mas ao mesmo tempo são muito flexíveis e adaptáveis a diferentes necessidades. Esse tipo pode ter uma grande variedade de formas. Os componentes vão desmontados, um tamanho menor facilita o transporte. Esse tipo requer técnica para montagem.

Materiais: madeira e aço, mais recentemente fibras e plástico. A Figura 47 mostra um abrigo desmontado da D&D-FRB, desenvolvido de acordo com as exigências de transporte aéreo e marítimo da OTAN e utilizado em três vilas emergenciais erguidas por ocasião do tsunami na Indonésia.

O uso de abrigos militares é desaconselhado pela Organização de Suporte a Desastres das Nações Unidas - UNDRP (*United Nations Disaster Relief Organization*) por motivos sociais, culturais e de convivência que acreditam comprometer a eficiência dos acampamentos, alegando que este tipo abordagem pode afetar o processo de recuperação da população afetada:

“As organizações militares procuram a uniformidade e conformidade. Esta preocupação pela ordem é simplesmente esperar muito da população civil atingida por um desastre. O período imediatamente após um desastre é um período que as pessoas precisam se unir e desenvolver responsabilidades coletivas. Uma hierarquia militar (organização rígida) pode inibir este processo social orgânico”.



Figura 47: Flat-pack (Fonte: Army Technology, 2012)

2.6.3. Tensionados (*tensile*)

Caracterizam-se por membrana sustentada por armação rígida. São estruturas muito leves que podem ser facilmente transportadas e remontadas. O arquiteto alemão Frei Otto, iniciou o desenvolvimento das modernas estruturas tensionadas flexíveis cobertas com tecidos e lonas nos meados do século XX. (Berger 2005, 20-39, Kuusisto 2010, p34). A Figura 48 mostra as tendas (*Shelter Box*) tensionadas usadas para desabrigados das inundações de Campos, no Rio de Janeiro, em 2012.

2.6.4. Pneumáticos (*pneumatic*)

São estruturas caracterizadas por membranas sob pressão, insufladas com ar. São extremamente leves e fáceis de transportar. Essa tecnologia não é recomendada para ser utilizada em locais sujeitos a ventos fortes, por ser vulnerável ao carregamento. Outros pontos fracos são o esvaziamento accidental

provocado por orifícios ou rasgos e a necessidade constante de suprimento de energia. Abrigo inflável desenvolvido pela NASA *Toroidal Lunar Habitat-ILC-Dover Habitat Programs and Technology*, desenvolvido com estrutura leve e expansível, o abrigo em forma de concha inflável é empacotado junto com seu núcleo rígido para ser transportado nos veículos aeroespaciais.



Figura 48: Acampamento de desabrigados em tendas em Teresópolis, no Rio de Janeiro (Fonte: Shelter Box, 2012)



Figura 49: Abrigo inflável. (Fonte: Texas University, 2011)

O abrigo proposto neste estudo se enquadra nos tipos (2.6.1.b e 2.6.2), segundo a classificação de edificação de Kronenburg, Trata-se de um abrigo modular, construído em fábrica e montado no local, podendo ser desmontado ou acrescido de outros módulos, de acordo com a necessidade.

2.6.5. Mobilidade (*mobile*)

Em 1964, o arquiteto alemão Frei Otto, classificou as estruturas retráteis em matrizes de movimento dividindo entre elementos rígidos e membranas têxteis. As construções foram classificadas pelo tipo e pela direção do movimento. A seguir serão apresentados os detalhes técnicos e uma aplicação atual da técnica de construções desmontáveis.



Figura 50: Matriz de movimentos: classificação de construções rígidas retráteis (Otto et al, 1971, citado por Walter, 2006 e Friedman, Farkas, 2011)

No desenvolvimento deste trabalho, foi estudado o sistema de dobraduras por movimentos paralelos. Utilizamos os movimentos paralelos no projeto de montagem e desmontagem do abrigo emergencial. A Figura 51, mostra o pátio interno do *City Hall* de Viena e o mecanismo retrátil em paralelo de uma cobertura têxtil, projetada pela arquiteta austríaca Silja Tillner.



Figura 51: Cobertura Desmontável – Viena City Hall, Viena (Fonte: Seele, 2012; Arquiteta: Silja Tillner)

Os britânicos inovaram criando a versão mais sustentável da história dos jogos olímpicos. O evento contou com arquibancadas temporárias para serem desmontadas após os jogos e darem lugar a eventos esportivos e atividades comunitárias. O estádio construído para a abertura dos Jogos Olímpicos de Londres, 2012, contém uma parte fixa com 25.000 lugares, e outra com capacidade para abrigar até 55.000 pessoas composta por anéis desmontáveis, para serem retirados após as Olimpíadas.



Figura 52: Estádio olímpico de Londres (Fonte: Wikipedia, 2012)

A estrutura dos jogos olímpicos de Londres adotou o conceito de arenas recicláveis. O parque aquático foi construído com duas arquibancadas removíveis com 17.500 lugares, sendo depois redimensionado para abrigar 2.500 pessoas, e o estádio de basquete, Figura 53 B, projetado com 10.000 lugares que podendo ser totalmente desmontado e montado em outro lugar.



Figura 53: Arenas recicláveis. A) Parque aquático B) Estádio de basquete (Fonte: Terra, 2012; Autor: DOA, Getty Images)

2.7. Diretrizes técnicas para construção e projetos de abrigos

Os parâmetros utilizados neste estudo foram extraídos de recomendações publicadas pelas Nações Unidas, em parceria com entidades internacionais de ajuda humanitária, que sintetizaram suas experiências e criaram guias contendo diretrizes básicas para atendimento em caso de desastres: *The Handbook for Emergencies (UNHCR 2007)*, *Humanitarian Charter and Minimum Standards in Disaster Response (Sphere Project 2004)*, *IASC Emergency Shelter Cluster publication, Shelter Projects (2008)*, entre outros, que fornecem para a comunidade internacional os fundamentos de socorro em situações de emergência.

2.7.1. Tamanhos de abrigos

O tamanho de abrigo ideal recomendado é baseado em 3,5 m² por pessoa.

De acordo com *Sphere 2004 – Shelter and Settlement, Standard 3*, uma área coberta de 3,5 m² por pessoa pode ser apropriada para salvar a vida e a fornecer abrigo adequado de curto prazo, na sequência imediata de uma catástrofe, especialmente em condições climáticas extremas. Em tais casos, onde materiais para abrigo não são prontamente disponibilizados, quanto mais tempo demorarem para chegar, o bem-estar e a saúde e das pessoas afetadas podem ser comprometidos.

Caso não seja possível prover os 3,5 m² recomendados, ou se esse tamanho exceder o espaço prévio utilizado, pelos afetados ou pela população vizinha, deve-se ponderar sobre o impacto causado por uma área coberta reduzida sobre a dignidade da vida privada e da saúde das pessoas.

Alguns abrigos já implantados com tamanhos diversos, que variam de 9 m² a 74 m², resultam de diferentes necessidades, continuidade, logística orçamentos, restrições, normas de acolhimento e políticas oficiais.

Os abrigos menores são geralmente construídos após a avaliação do local de acolhimento, padrões da população, e de acordo com as possibilidades. Tamanhos de abrigos não são necessariamente bons indicadores da qualidade de um programa de abrigo.

2.7.2. Containeres e paletes

Abrigos que serão transportados por mar devem se enquadrar nos espaços dos containeres utilizados para transporte. A tabela 3 mostra os tamanhos padronizados de containeres em conformidade com a ISO 6346:1995.

Tabela 3 - Dimensões de containeres

Dimensões padrão de containeres marítimos (altura simples)*					
container	dimensões Internas			porta	
tamanho	comprimento	largura	altura	largura	altura
20'	5.89m	2.32m	2.23m	2.30m	2.14m
40'	12m	2.32m	2.34m	2.30m	2.23m

*Containeres de altura dupla e de outros tamanhos também são utilizados. Nos Estados Unidos, por exemplo, são comuns containeres de 45'. (pode haver pequenas variações nessas dimensões)

Containeres aéreos

Um padrão diferenciado é usado para contêineres de carga aérea, (conhecido como ULDs ou unidades de carregamento), definido pela IATA (*International Air Transport Association*). Suas dimensões variam de acordo com o volume suportado que pode variar desde 4,90m³ até 7,16³ m, com largura variável, entre 1,19m e 3,18m, comprimento de 1,53m e altura de 1,63m.

Paletes

Há muitas dimensões diferentes de paletes em uso, geralmente são feitas de madeira, mas algumas vezes são feitas de materiais plásticos, entre outros. Exemplos de padrões de paletes são as europalettes, em conformidade com a ISO 6780, e *North American Grocery Manufacturers' Association* (GMA). (IAPSO *Emergency Relief Items*, vol. 1, p 24).

2.7.3. Materiais de construção recomendados

Dentre os materiais mais comuns utilizados em desastres para a construção de abrigos emergenciais que não são alimentos (NFIs)⁴ para serem utilizados na construção de abrigos estão o bambu, a madeira e o aço. Estes materiais tendem a ser mais baratos para comprar, mais fáceis de transportar,

⁴ NFIs – Non Food Items (itens não alimentícios)

mais rápidos para construir, e mais adequados para a realocação que paredes de alvenaria. (*Transitional Shelter Guidelines, 2010, p.171*).

Materiais como madeira e bambu, materiais compósitos, painéis utilizando madeira ou bambu, são usados freqüentemente em projetos de abrigos, pela facilidade de utilização de técnicas de construção locais, disponibilidade, leveza para transporte, facilidade de uso na construção, adequação para uso em estruturas modulares e adequação para ser reutilizado posteriormente, para revender e reciclar. Há guias especializados em respostas humanitárias que fornecem orientação sobre origem, tratamento, armazenamento, transporte e uso de madeira. (UN/OCHA, *Timber*, 2009).

Alguns exemplos são compostos de camadas de madeira fina coladas às placas de gesso, madeira compensada, MDF e OSB. Localmente também podem ser feitas esteiras a partir de bambu, ou molduras de madeira preenchidas com gramíneas de palha ou folhas tecidas. As principais vantagens da utilização destes produtos é que eles são leves, fortes e de baixo custo. (Adapted from MSF Spain, *Small Constructions Manual*, 2011, p.41)

O bambu pode ser usado em painéis, estruturas de telhado e também pode ser usado como telha, partido em meia cana, e paredes. O bambu é um material de construção muito útil, devido em parte à sua rápida taxa de crescimento.

2.8. Desenvolvimento sustentável e painel sanduíche de bambu

2.8.1. Desenvolvimento sustentável

O desenvolvimento sustentável proposto pelo Relatório Brundtland, publicado com o título “Nosso Futuro Comum” foi assim definido:

“Desenvolvimento sustentável é o uso dos recursos naturais para suprir as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das futuras gerações de suprirem às suas próprias necessidades.”

O relatório, que critica o uso indiscriminado dos ecossistemas sem preocupação com o esgotamento dos recursos naturais, foi apresentado em 1987 pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. A comissão foi criada por uma iniciativa da ONU, receosa com a utilização desenfreada dos recursos naturais pelos países industrializados, seguido pelos países em desenvolvimento. O conceito evoluiu, e atualmente, para uma atividade para ser considerada sustentável deve contemplar três setores:

ambiental, econômico e social, chamados de “tripé da sustentabilidade” ou *triple bottom line* (TBL).

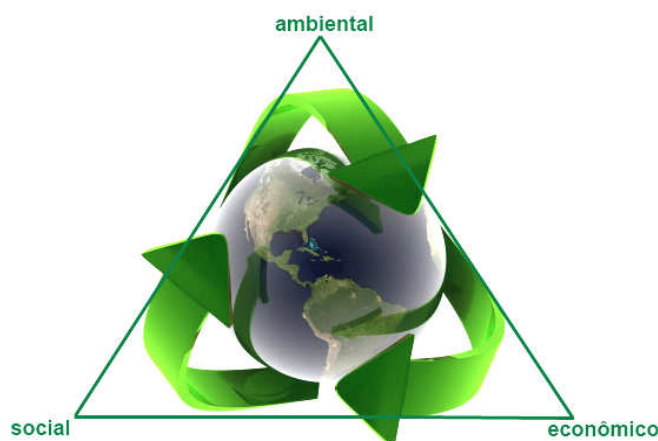


Figura 54: *Triple Bottom Line* (TBL). (Fonte: Mi Universo Digital. Adaptada pela Autora, 2012)

2.8.2. Agenda 21

A Agenda 21 é um completo plano de ação resultante de conferências com temática socioambiental que foi entregue como um guia orientador às prefeituras, governos, empresas, ONGs, e outros segmentos sociais, como mulheres, jovens, trabalhadores e sindicatos, à sociedade de um modo geral para ser adaptada a objetivos locais. A introdução do conceito “*think globally and act locally*” (pense globalmente e aja localmente) enfatiza o raciocínio global pela preservação do homem e do planeta. (Agenda21)

No capítulo 8, a Agenda 21 conclama aos países que adotem Estratégias Nacionais de Desenvolvimento Sustentável (ENDS), estimulando-os a desenvolver e harmonizar as diferentes políticas: setoriais, econômicas, sociais criminais, ambientais e de planos que estão operando no país. (UN, 2009).

Assim, as Estratégias Nacionais de Desenvolvimento Sustentável (ENDS) apresentam sete pontos chave, onde questões econômicas, ambientais e sociais são tratadas de forma integrada, conforme a Tabela 4:

Tabela 4- Pontos-chave para o desenvolvimento sustentável

1	Alterações climáticas e energia limpa
2	Transporte sustentável
3	Consumo e produção sustentáveis
4	Conservação e gestão dos recursos naturais
5	Saúde pública
6	Inclusão social, demografia e imigração
7	A pobreza no mundo

Fonte: EUROPEAN COMMISSION (Acesso:11/112009).

O abrigo proposto neste trabalho é formado por painéis sanduíche compostos por materiais naturais renováveis como o bambu e mamona, e resíduos industriais, como as placas recicladas. Portanto se enquadra nos itens 3 e 4 da Tabela 4, e está em conformidade com as diretrizes econômicas, ambientais e sociais para o desenvolvimento sustentável.

2.9. Materiais de construção convencionais

A construção no Brasil é baseada em materiais de construção convencionais, como o cimento, a areia, a pedra e a argila. Além de não serem renováveis e de contribuírem para o esgotamento dos recursos naturais do planeta, são também responsáveis pela transformação das cidades em verdadeiras ilhas de calor urbano.

Estima-se que atualmente a construção civil consuma entre 20% e 50% do total de recursos naturais utilizados pela sociedade (Sjostrom, 1992). O cimento, uma das principais matérias-primas do setor, além de ser muito poluente, possui elementos que desencadeiam doenças crônicas (Serra, 1999). "A emissão anual de gases de efeito estufa das indústrias de cimento é estimada em 1,35 bilhões de toneladas, o que corresponde a aproximadamente 7% do total de emissões desses gases" (Ki-Chang et. al., 2008). Os principais gases responsáveis pelo efeito estufa são: o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), clorofluorcarbonos (CFCs) e ozônio (O_3), (Embrapa, 2012). Segundo Pinto (2008), essa indústria também "consome o equivalente a 16% da água potável no mundo bem como utiliza direta ou indiretamente 30% a 40% de toda a energia consumida, gerando entre 20% e 30% de todo o lixo do planeta". (Salgado, 2010).

John, Sato, Agopyan & Sjöström (2001) citam Kasai (1998), que afirma que a construção civil consome aproximadamente 50% da matéria prima bruta no Japão, além de ser o setor que mais consome material em todas as sociedades. Matos & Wagner (1999) estimam que nos EUA, a construção civil é responsável pelo consumo de 75% do consumo total de materiais.

Na Europa, a matéria prima já está se tornando escassa e as áreas para depósito de resíduos são quase inexistentes. Países como a Holanda, Dinamarca, Espanha e Reino Unido já efetuam cobrança pelos resíduos gerados pela construção civil. Essas medidas regulamentam o setor e forçam a adoção de medidas de redução. Em Madri são cobrados três euros por metro cúbico pela disposição final de resíduos da construção civil. (Sanches, 2004).

2.9.1. Mudança de paradigma

É preciso repensar a tecnologia que vem sendo utilizada desde a época dos romanos e que se consolidou com a industrialização.

A implantação de uma tecnologia de desenvolvimento limpa, ou o uso de materiais renováveis ou reutilizados, a redução do consumo de energia e de recursos naturais pode fazer uma grande diferença para a sustentabilidade global, principalmente quando se pensa em construção popular. Materiais industrializados como cimento, tijolo cozido, aço, vidro, telhas, cerâmicas são caros para as camadas mais pobres da sociedade. As casas rurais proporcionam uma habitação digna embora sejam rústicas e utilizam materiais locais como: terra, palha, bambu, junco e madeira. Estes materiais têm sido utilizados nos países em desenvolvimento desde tempos imemoriais e embora haja atualmente muita resistência para sua utilização, o uso tecnicamente correto e economicamente viável através de ensaios técnicos bem sucedidos pode restaurar a confiança dos governos, da indústria e dos usuários. (Agenda 21, 2001). No início do século XX, a introdução do aço e do vidro causou uma grande transformação nos conceitos já sedimentados de construção tradicional com argamassa e tijolo. Mudanças despertam preconceitos e geram resistência para aceitação, porém a construção ecológica, com a utilização de materiais e tecnologias verdes já conquistou um grande número de adeptos e defensores. Alguns países estão desenvolvendo novas tecnologias de baixo custo e eficientes, para a produção de materiais de construção ecológicos, no entanto, a maioria dessas tecnologias ainda está em fase experimental ou de demonstração.

Tabela 5: Novas tecnologias em desenvolvimento

Índia	Resíduos agrícolas e industriais
América do Sul	Painéis de palha de cana, bambu, reciclagem de resíduos de construção
Malásia	Métodos de produção moderna com práticas tradicionais de construção – componentes pré-fabricados de madeira

Fonte: Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries (Fonte: Sheter Centre; Acesso: 17/08/2012).

Este trabalho busca compreender os métodos e as tecnologias utilizadas ao longo da história, pois se acredita, como observou Akasaki (1999) apud Kronka (2001), que o resgate de tradições construtivas antigas, aliadas aos benefícios da tecnologia e a utilização de materiais construtivos característicos

da arquitetura vernacular são de certa forma, uma tentativa de manter a sustentabilidade de todo o sistema.

2.9.2. Consumo de energia

Nas antigas civilizações, todas as edificações faziam uso de uma arquitetura passiva e de baixo consumo de energia. Atualmente, com o controle climático, as edificações passaram a ser as maiores consumidoras de energia no mundo, sendo em muitos casos, verdadeiras máquinas isoladas que funcionam 24 horas por dia, durante todo o ano. (Roaf, 2001 apud Kronka, 2001).

Yeang, (1999) citado por Kronka, (2001) adverte que o ambiente urbano consome, com suas construções, atividades, serviços e transportes, mais de 50% das fontes mundiais de energia, e é responsável por grande parte da emissão de gases responsáveis pela mudança climática, além de consumir grande parte da matéria prima existente no planeta.

Stulz & Mukerji (1983) observaram que materiais convencionais, como tijolos e telhas fabricados em fornos aquecidos a 850-1000°C, consomem em torno de 12000 MJ de energia para cada mil unidades, dependendo do tipo de forno utilizado.

Ao se comparar o bambu com materiais convencionais como o aço, tijolos e telhas, o bambu é o material em que se gasta menos energia na sua produção, seguido pela madeira, pelo concreto, tijolos e telhas de barro, e o aço, sendo que este último consome uma energia 50 vezes maior do que o bambu, conforme mostrado na Tabela 6.

Segundo Dias (2002) citado por Nunes (2005), para cada quilo de aço produzido pela construção civil são consumidos 1.500 litros de água; para cada tonelada de cimento são queimados 1.200 l. de óleo diesel e para a produção de 10.000 blocos cerâmicos (um caminhão médio), são queimados 4,8 m³ de lenha. Kronka (1998) destaca que a escolha de materiais construtivos com menor índice de energia embutida para sua produção pode resultar em significativa redução dos custos, principalmente quando utilizados em larga escala.

Como podemos observar na Tabela 7, as paredes constituem a fase da construção que mais consome energia. E a alvenaria é responsável por quase a totalidade da energia despendida para a construção de paredes.

Tabela 6: Consumo de energia (MJ) para produção de 1 m³ por unidade de força (MPa)

Material	MJ / m³ MPa	
Aço	1500	
Concreto	240	
Madeira	80	
Bambu	30	
Tijolos e telhas	1200	

Fonte: GHAVAMI (1992), JANSSEN (1981), complementada pela Autora com dados de (Stulz & Mukerji 1983)

Tabela 7 - Consumo de energia para diferentes elementos de construção

Cobertura	9%	Telhado	6%
		Forro/Laje	3%
Paredes	66%	Alvenaria	57,5%
		Portas/janelas	4%
		Instalações hidráulicas e elétricas	4,5%
Fundações	25%	Fundações	2%
		Piso	23%

Fonte: GUIMARÃES (1985)

O processamento da matéria prima para transformação em insumos é responsável pela quase totalidade do consumo de energia, indicando que o uso indiscriminado de recursos não renováveis na construção civil também implica em outras perdas ambientais. A Tabela 8 mostra que o maior consumo de energia se dá na etapa de fabricação dos materiais de construção.

Tabela 8- Demanda de energia para cada etapa da construção

Etapas	Percentual
Fabricação de materiais de construção	96,41%
Transportes	1,38%
Fundações	0,57%
Construção	1,24%
Total	100,00%

Fonte: MASCARÓ & MASCARÓ (1992) apud SANTOS (2002)

Este trabalho buscou apresentar uma proposta alinhada com o conceito do desenvolvimento sustentável, enfatizando o uso de matéria-prima renovável, materiais atóxicos e reaproveitamento de resíduos na escolha dos materiais para a montagem dos painéis sanduíche. O critério de seleção foi baseado na

premissa básica de utilizar materiais disponíveis no Brasil, adotando-se os fundamentos da arquitetura vernacular, para a construção dos abrigos emergenciais.

2.9.3. Construção seca

A água tem se tornado um bem precioso não só no Brasil, país com o maior recurso hídrico do planeta, mas em todo o mundo. A conservação da água não é só uma questão ambiental, mas também de sobrevivência (Menegati, 1998).

Na construção convencional, a água é um dos principais elementos, imprescindível para a composição de concreto e argamassa e compactação de aterros. Embora seu custo não seja contabilizado nos orçamentos dos serviços de construção, são necessários em média de 160 a 200 litros de água para cada metro cúbico de concreto e até 300 litros para compactação de um metro cúbico de aterro. (Neto, 2012).

O sistema proposto neste trabalho reflete a crescente necessidade de soluções com maior eficiência de uso dos recursos naturais disponíveis, além da diminuição nos impactos gerados. A escassez de água, de energia e de matéria prima faz com que estas soluções passem a ser cada vez mais utilizadas (Krainer, 1997; Roaf, 2001 citados por Kronka, 2001). Os “sistemas especiais” segundo Kronka (2001), são soluções não convencionalmente utilizadas, não incluídas nas normas brasileiras, que tenham como objetivo principal o controle de impacto direto e indireto sobre o meio ambiente e a utilização de práticas de conservação e de reciclagem, construção com materiais de baixo conteúdo energético ou reutilizados, entre outras tecnologias verdes.

No abrigo feito com o painel sanduíche de bambu desenvolvido neste trabalho, a utilização de água não é necessária em todo o processo construtivo. A construção do abrigo emergencial proposto se trata de uma construção seca que pretende substituir as paredes de alvenaria convencional pelos painéis sanduíche de placas recicladas e bambu, que são materiais de baixo consumo de energia. As paredes, já chegam prontas ao local da obra, não geram resíduos e não consomem água para sua montagem e fabricação de painéis. O processo de construção é totalmente seco, rápido, e econômico. As placas são hidrofugantes, e o bambu, protegido da água da chuva e da umidade, utilizado no núcleo do painel.

2.10. Outras técnicas não convencionais

2.10.1. Painéis de bambu

Países, onde o bambu faz parte da cultura e da tradição e a população já está familiarizada com o material, desenvolveram diferentes técnicas de construção. As técnicas desenvolvidas ao longo do tempo por esses povos são rudimentares e artesanais compatíveis com os recursos disponíveis à época em que foram criadas.

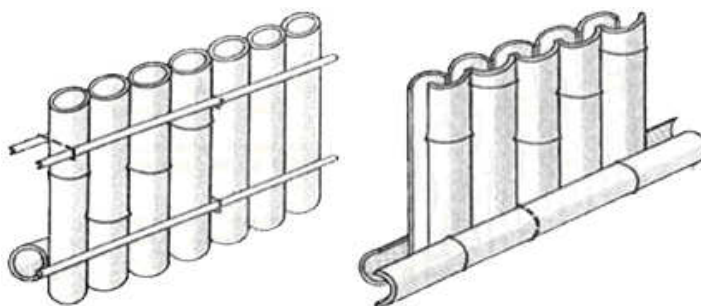


Figura 55: A) Parede de colmos inteiros de bambu; B) Parede de colmos de bambu cortados ao meio (Fonte: Jayanetti e Follet (1998) apud Padovan (2010))

Dentre as técnicas mencionadas podem-se destacar algumas mais usuais como as paredes compostas por colmos de bambu inteiros dispostos lateralmente na vertical, muito comuns na Ásia, como mostra a Figura 55 A., e a Figura 55 B mostra a parede com os colmos de bambu cortados ao meio.

a) Esteiras

Nunes (2005) utilizou para a construção do Centro de Educação Agro-Florestal em Sergipe, painéis montados com esteiras de bambu sobre quadros de madeira formando painéis de dupla face para vedação do vão, preenchidos com argamassa constituída por cimento, cal e areia, adicionados posteriormente reboco e pintura, como acabamento final, mostrado na Figura 56.

b) Bambucreto

O uso do bambu como reforço do concreto, *bambucreto* tem sido estudado por diversos pesquisadores, a Figura 57 mostra uma aplicação como forma para laje de concreto reforçado com bambu, desenvolvido por Achá (2002).

O bambu deve ser tratado por algum repelente ou usar componentes como anéis de arame farpado e verniz para melhor aderência com o concreto. Bauman apud Barmak (1938) apud Cardoso (2010) afirma que não é possível obter um

conjunto solidário entre bambu e o concreto, pois não há nenhuma aderência entre os mesmos. O mesmo autor conclui que o bambu antes de ser utilizado com concreto deve ser impermeabilizado. Como solução para este problema, Ghavami & Hombeeck (1981) experimentaram algumas resinas, não em sua forma pura, pois se tornam inviáveis economicamente, mas associadas a outros elementos.



Figura 56: A) Montagem do painel em quadro de madeira de ripa comercial; e B) Aplicação de argamassa (Fonte: Nunes, 2005).



Figura 57: Laje de concreto reforçada com bambu (Achá, 2002)

2.10.2. Painéis com Tetrapak

a) Universidade de São Paulo (USP)

Pesquisadores da USP desenvolveram um painel alveolar modular de concreto armado com telhas de tetrapak como mostra a Figura 58. A finalidade deste painel é a substituir paredes e lajes de construção convencional pela construção pré-fabricada de baixo custo em Habitação de Interesse Social. (Ferreira, 2009)

Os painéis possuem uma forma interna de manta de fibra de vidro e resina poliéster para modelar os alvéolos do núcleo do painel que são vazados, e

permitir a passagem de dutos de instalações elétricas e hidráulicas.



Figura 58: Pannel alveolar modular de concreto com telhas de tetrapak (Fonte: Revista Habitare, 2009)

b) Universidade de Taubaté

Foi desenvolvido um protótipo de placas pré-moldadas com tetrapak, utilizando caixas utilizadas de tetrapak envoltas em tela de arame, e argamassa de cimento, areia e brita, visando produzir um sistema pré-fabricado modular.



Figura 59: A) Preparação do pannel; e B) Ensaio de compressão (Fonte: Nunes et. al., 2009)

Há diversas limitações nestes projetos que usam cimento e concreto, materiais pesados, caros e altamente poluentes. É difícil a aderência do concreto ao tetrapak. A telha de tetrapak utilizada para criar o vão destinado à passagem de dutos, comprimida entre as camadas de concreto tende a deformar com o peso do concreto. Há ainda a dificuldade do procedimento de colocação e retirada da forma, inicialmente moldada com fibra de vidro e resina, materiais também altamente poluentes. O pannel da Universidade de Taubaté nos testes de resistência à compressão com placas de 8 cm de espessura, o resultado de 1,8 MPa não foi satisfatório.

3 Metodologia

Os materiais que compõem o painel sanduíche de bambu proposto neste trabalho foram selecionados em atenção às diretrizes de entidades como a Cruz Vermelha Internacional, Nações Unidas, *Shelter Centre*, entre outras, envolvidas em ajudar desabrigados de desastres ambientais nos aspectos humanitários, técnicos e ambientais.

Com a preocupação de criar uma solução integral para o problema de carência de abrigo em situações de emergência deu-se preferência ao uso de materiais naturais como o bambu por sua resistência estrutural, reciclados como a placa de tetrapak com propriedades anti-chamas e hidrofugantes e, atóxicos como o adesivo de poliuretano vegetal.

Os painéis de bambu são componentes que podem ser facilmente desmontados e remontados facilitando a substituição de peças, o reuso do material e ampliação da edificação, além de não gerar resíduos durante a obra. Estima-se que o processo de fabricação gere uma quantidade mínima de resíduos, e mesmo sendo pequena quantidade esses resíduos poderão ser reaproveitados.

Especialmente em países emergentes, a introdução de uma nova tecnologia sustentável pode trazer benefícios também na esfera social, absorvendo grande parte da mão-de-obra despreparada para os desafios dos novos tempos. A implantação dos edifícios de baixo impacto ambiental pode gerar a oportunidade de desenvolvimento de uma nova economia. Estas oportunidades estão relacionadas com a geração de empregos devido à demanda dos produtos e serviços de baixo impacto ambiental. (Doe/Epa,1997 citado por Kronka, 1998) .

O painel sanduíche de bambu desenvolvido neste trabalho atende a todos os requisitos provando se enquadrar perfeitamente nos critérios importantes para uma tecnologia verde e sustentável de acordo com a Tabela 9, elaborada por Oliveira (2009 apud SOARES 2011). A tabela reúne uma série de critérios para serem analisados ao selecionar materiais e componentes visando preço, tempo e mão de obra disponível, e propões as seguintes categorias para definir sua sustentabilidade.

Tabela 9 - Requisitos de materiais e componentes

Material ou Componente		
Água	% de água economizada na produção	100 %
	% de água economizada no uso	100 %
Matéria-prima	Disponibilidade de recursos naturais (alta/baixa)	alta
	Conteúdo de substâncias tóxicas (sim/não)	não
	% de fonte reciclada	50%
	Capacidade de renovação do recurso (anos) e biodegradação	3 anos renovação
Energia embutida	Energia embutida em todo o ciclo de vida	baixa
	Energia embutida por m2 construído com material ou componente	baixa
Emissões	Quantidade de CO2 emitido em todo o ciclo de vida (CO2/kg)	não
	Emissão de outros gases de efeito estufa na produção (sim/não)	não
	Emissão de poluentes do ar interno	não
	Emissão de óxidos de nitrogênio e enxofre	não
Resíduos gerados	Quantidade de resíduos tóxicos ou perigosos ou metais pesados	0
	Vida útil adequada do material (anos)	50
	% que pode ser reciclado ou reutilizado	100%
	Conformidade técnica do material / capacitação profissional necessária	Alta/baixa
Transporte	Distância transportada (km)	variável
	Emissões do transporte	variável
Aspectos sócio-econômicos	Custo	baixo
	Importância cultural (subjetivo)	não
	Capacidade de transferência tecnológica (subjetivo)	sim
	Políticas empresariais (sim/não)	não

Fonte: Oliveira (2009 apud SOARES 2011), adaptada pela Autora

3.1. Materiais utilizados

3.1.1. Bambu

Existem mais de 1500 espécies botânicas diferentes de bambu no mundo. (Chung & Yu, 2002). O bambu, além de ser um bom material natural estrutural, tem um rápido crescimento, demorando geralmente de três a seis anos para a colheita, dependendo da espécie e da técnica utilizada no plantio.

Há um interesse crescente no desenvolvimento de bambu como um substituto da madeira na construção. O reconhecimento do bambu como material de construção sustentável está crescendo, no mundo todo há interesse em sua utilização e as pesquisas já não se limitam somente a países em

desenvolvimento. Há diversas construções e aplicações estruturais de bambu incluindo pavimentação, aglomerados, armaduras (colmos e colmos parciais para concreto e alvenaria, e fibras para argamassas e polímeros) e estruturas. (Sharma, 2009).

O bambu pode atingir seu máximo crescimento em florestas equatoriais onde cresce melhor, em regiões temperadas e em altas altitudes cresce em arbustos. O maior país do mundo em recursos de bambu é a China, em segundo, a Índia, tanto em variedade quanto em distribuição de espécies.

a) Distribuição geográfica

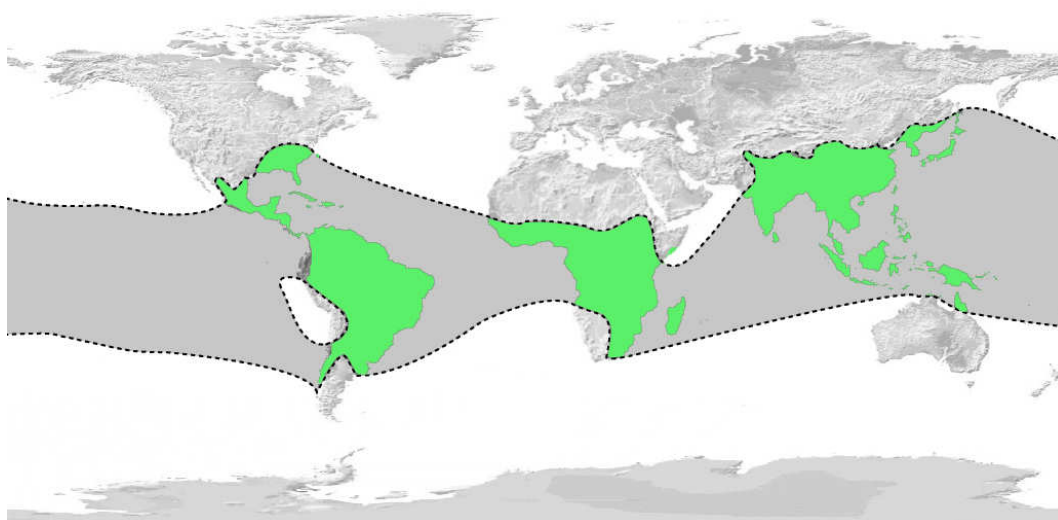


Figura 60: Mapa de distribuição natural de bambu o mundo (Fonte: Laroque, 2007), editado pela Autora

O bambu é uma gramínea que cresce naturalmente, a maioria das espécies de bambu próprias para construção ocorre no intervalo entre as latitudes 46N e 47S, como mostra a Figura 60. (Laroque, 2007). O bambu é amplamente utilizado como material de construção, e já é tradição em várias regiões do mundo, principalmente nos países asiáticos como a China, Filipinas, Tailândia, Índia e outros países orientais e na América do Sul, em países andinos como Colômbia, Costa Rica e Equador.

O mapa mostra que as áreas de distribuição natural do bambu nas Américas e na África se equivalem à Ásia, porém a concentração não ocorre na mesma proporção. A Tabela 10 mostra a concentração da ocorrência de reservas naturais de bambu por região.

Na Ásia, povoada por civilizações mais antigas, o potencial do bambu já foi descoberto, e sua leveza, resistência e baixo custo são aplicados nos setores rurais, urbanos e industriais como mostra a Tabela 11.

Tabela 10 - Distribuição natural do bambu pelo mundo

Continente	%
Ásia	62%
Américas	34%
África e Oceania	4%

Fonte: Lopez (2003)

Tabela 11 - Consumo de bambu em países asiáticos

País	Construção (%)		Áreas rurais (%)	Embalagens (%)	Manufatura de polpa (%)	Outros usos (%)
	Casas	Outros				
Bangladesh	50	10	20	5	10	5
Mianmar	33	32	32	5	-	1
Índia	16	16	30	7	17	14
Japão	24	7	18	7	4	41
Filipinas	80	-	15	2	-	3
Tailândia	33	20	6	-	8	33

Fonte: Lessar (1980, p.111) apud Peixoto (2010)

No Brasil, já existem iniciativas com utilização dessa matéria prima, mas a cadeia produtiva ainda é incipiente. O potencial construtivo do bambu ainda é pouco explorado, restrito a pequenas iniciativas isoladas. Mas essa realidade está prestes a mudar com a criação de um projeto de lei sancionado há um ano que criou a Lei do Bambu. Trata-se de um mecanismo de incentivo ao cultivo e manejo sustentado deste recurso natural e estabelece um novo conceito para a gramínea, que passa a ser tratada como produto agrícola e contará com linhas de financiamento diferenciadas. (Embrapa, 2011). Estes incentivos governamentais irão estimular sua produção e conseqüente inserção no setor da construção civil.

O Brasil possui a maior diversidade de bambu das Américas, com cerca de 200 espécies. Na Amazônia, existem cerca de 18 milhões de hectares de reservas nativas de bambu. Essa imensa mancha verde está distribuída em áreas que incluem as regiões da tríplice fronteira (Brasil, Peru, Bolívia). O estado do Acre abriga uma das maiores reservas nativas do mundo, com mais de 600 mil hectares ocupados. A maior parte desse recurso natural está localizada na Reserva Extrativista Chico Mendes, no município de Xapuri, onde predomina o gênero *Guadua*, considerado de grande potencial econômico. (Gonçalves, 2010). A Figura 61 mostra a distribuição geográfica do bambu no Brasil.

Historicamente, o uso do bambu em construção no Brasil sempre foi utilizado, tanto por indígenas em suas habitações quanto após a colonização, em

estruturas com terra chamadas de “pau-a-pique”, formando um esqueleto com ripas na vertical e horizontal (Vasconcellos, 2006 apud Manhães, 2009).



Figura 61: Distribuição geográfica do bambu no Brasil (Fonte: Fialho et al., 2005 apud Barelli (2009); e Wikimedia, 2012; editados pela Autora)

Tabela 12 - Distribuição geográfica do bambu no Brasil

A	Norte - Maiores reservas naturais do mundo (em espécies nativas)
B	Demanda por biomassa para termoeletricas
C	Tecnologia já instalada de celulose/papel
D	Zona da Mata Nordestina - maior necessidade de reconversão de culturas
E	Sudeste - maior diversidade de espécies e abertura para o mercado
F	Mercado Externo Demandante

Fonte: Fialho et al, 2005 apud Barelli (2009)

Segundo Peixoto (2010), o bambu é um material renovável, de alta produtividade e fácil cultivo, apresentando-se como uma boa alternativa para o setor construtivo, podendo inclusive, ser associado a outros materiais para ser empregado em uma infinidade de propósitos.

O bambu é um recurso florestal que apresenta excepcional desenvolvimento, gera produção de biomassa da ordem de duas vezes a do eucalipto ocupando o mesmo espaço, de acordo com Azzini et al (1997). Apresenta propriedades físico-mecânicas adequadas para ser utilizado na indústria da construção quando respeitadas suas melhores orientações estruturais. Segundo Xavier (2004), quando tratado adequadamente com substâncias protetoras, possui alta durabilidade, podendo vir a ser um interessante substituto à madeira de lei, ao concreto e ao aço.

De acordo com Velásquez (2010), o bambu quando usado internamente, sem contato com umidade, pode resistir centenas de anos. Recentemente foi encontrada na Colômbia, nos municípios de *La Unión* e *Cartago*, no *Valle del Cauca*, uma casa com estrutura de madeira e paredes de bambu e argamassa de barro, com estrume de cavalo, capim e cal, cujo tempo de construção foi estimado em 230 e 250 anos, como mostra a Figura 62.



Figura 62: Casas centenárias de bambu (Fonte: Revista Galeria Bambu nº 202, Março de 2010; Autor: Jorge Alberto Velásquez Gil)

Além da ocorrência natural, o bambu está sendo cultivado em muitos países, entre eles os EUA, Japão, China, Índia que já possuem grandes plantações. A produção anual de bambu na Índia atualmente é estimada em 4,5 toneladas, porém menos da metade está sendo usada para fabricação de papel, que é a maior utilização industrial de bambu. A outra parte é destinada aos demais usos, como agricultura e artesanato entre outros, assim como a habitação, que contabiliza um bilhão de pessoas vivendo em casas de bambu. (Bamboo Composites, 2010).

b) A espécie *Phyllostachys aurea*

A espécie escolhida para compor o painel sanduíche de bambu desenvolvido neste trabalho foi *Phyllostachys aurea*, conhecido no Brasil como “bambu-mirim” ou “cana-da-índia”, embora essa espécie, exótica no Brasil, seja nativa no sudeste asiático. No exterior é conhecido como “golden bamboo” ou “fishing pole bamboo”, entre outros. É tolerante a várias condições climáticas desenvolvendo-se muito bem tanto em regiões tropicais quanto temperadas, porém é extremamente agressiva quanto à ocupação territorial. (Xavier, 2004)

As regiões Sudeste e Sul do Brasil concentram o maior índice de plantações para fornecimento de varas brutas ou tratadas, possivelmente pela grande quantidade de imigrantes orientais nesta região. (Manhães, 2009). Muitas

espécies do gênero *Phyllostachys* foram trazidas ao Brasil pelos imigrantes japoneses no princípio do século passado, sendo abundantes no interior do estado de São Paulo onde estes instalaram suas colônias. Há pequenos plantios no Sul da Bahia, Minas Gerais, São Paulo, Paraná e no Rio de Janeiro. (Manhães, 2009).

O *Phyllostachys aurea* possui rizoma do tipo leptomorfo, que coloniza o solo distribuindo-se em bambuzais alastrantes, formando florestas. (Azevedo & Barbosa, 2010).



Figura 63: Floresta de *Phyllostachys aurea*. (Fonte: Bamboo Web, 2012)

A espécie *Phyllostachys aurea* é a mais utilizada no Brasil em móveis e artesanato, devido provavelmente, à sua grande resistência ao caruncho e à facilidade de ser curvado quando submetido ao calor.

Pereira (1997) afirma que o *Phyllostachys aurea* é bem pouco, ou melhor, raramente atacado pelos insetos, bastando ser colhido na época certa e passar por uma boa secagem na sombra ventilada, depois esquentado com um maçarico. E acrescenta que desta forma o bambu estará pronto para qualquer uso, por décadas.

A espessura do painel sanduíche de bambu desenvolvido neste trabalho, a ocorrência da espécie no Rio de Janeiro, a resistência ao ataque de insetos e as características do *Phyllostachys aurea*, como peso e diâmetro, foram determinantes para a escolha desta espécie.

c) Limitações do bambu

Como materiais orgânicos naturais não-homogêneos, grandes variações das propriedades físicas ao longo do comprimento do bambu são aparentes: os diâmetros, externo e interno, a densidade seca e o teor de umidade. (Chung & Yu 2002).

Uma das maiores dificuldades encontradas ao se executar construções com o bambu é que não há linearidade em seus colmos, as varas nunca são

totalmente uniformes. Essas variações dificultam soluções totalmente retilíneas na construção civil. No entanto, isto não cria um empecilho, já que a sua vantagem econômica, sua leveza e durabilidade compensam esse problema. (Teixeira, 2006, p.56).

Estudos experimentais sobre o bambu estrutural foram relatados por Arce-Villalobos (1993) e detalhes de conexões práticas para treliças de bambu e quadros também foram propostos e testados por Moreira (1991). Gutierrez (1999) fez um estudo sobre construção de bambu para habitação de baixa renda na América Latina e, pesquisas de aplicações inovadoras de bambu na construção civil na Índia, também foram relatadas pelo INBAR (*International Network for Bamboo and Rattan*, 1999).

O formato cilíndrico das varas e as variações dimensionais de uma peça para outra, e até mesmo na mesma peça são limitações para a construção padronizada.



Figura 64: Projeto Camburi (Fonte: ABMTENC, 2012)

Essa falta de padronização, totalmente natural, já que se trata de uma gramínea que cresce espontaneamente, limita seu uso em estruturas esquadrejadas além de impossibilitar a produção comercial de peças lineares para suprir a indústria da construção civil onde soluções retilíneas e previsíveis são necessárias.

Outra dificuldade limitante está nos encaixes das conexões entre as peças. (Peixoto, 2010). Peças com diâmetros diferentes, mesmo que a diferença seja milimétrica, não se encaixam perfeitamente, desequilibrando todo o conjunto e tornando-o pouco eficiente.

A Tabela 13 faz uma síntese das principais vantagens e a Tabela 14 das desvantagens do bambu.

Tabela 13-Vantagens do bambu

Vantagens do bambu
▪ Abundância que leva ao baixo custo e à economia
▪ Não poluente
▪ Baixo impacto ambiental
▪ Renovável
▪ Beleza Estética
▪ Ecológico
▪ Prático, podendo ser associado a outros materiais
▪ Crescimento rápido
▪ Não precisa ser replantado após o corte
▪ Produz mais ou menos 20 toneladas por hectare
▪ Leve (devido ao baixo peso específico e seção circular oca)
▪ Fácil transporte e armazenamento
▪ Boa resistência e flexibilidade
▪ O bambuzal por si só ajuda na contenção do terreno em casos de erosão e até mesmo terremotos

Fonte: Soares (2011) apud SOUZA (2004)

Tabela 14- Desvantagens do bambu

Desvantagens do bambu
▪ Quando muito seco pode pegar fogo
▪ Apodrece se ficar em contato com a umidade
▪ É propenso a ataques de insetos e cupim
▪ Não tem uma perfeita linearidade
▪ Tende a rachar, a fissurar e a esmagar
▪ Pode se contrair quando usado no concreto armado
▪ Falta de padronização (maior desvantagem)

Fonte: Soares (2011) apud SOUZA (2004)

O bambu na sua forma natural tem sido utilizado por arquitetos e construtores artesanalmente na construção civil, em projetos únicos e personalizados, como a Escola Verde em Bali, na Indonésia, toda construída em bambu. (Figura 65).



Figura 65: Escola Verde, em Bali, Indonésia. (Fonte: Casa Pré-fabricada, 2012)

Outra limitação importante para o desenvolvimento de bambu como um material moderno de construção, como apontam Chung & Yu (2002), é a falta de propriedades mecânicas e de dados de engenharia para o bambu estrutural. O bambu estrutural tem sido tradicionalmente usado na China, Filipinas, Índia e América Latina há centenas de anos, mas pouca pesquisa foi relatada no passado. Recentes pesquisas científicas sobre o bambu como material de construção foram relatadas por Au et al (1978) em Hong Kong, e também por Janssen (1981) na Holanda, e Ghavami (1980) no Brasil. Uma grande quantidade de dados das propriedades mecânicas para várias espécies de bambu em todo o mundo foram também relatadas por Janssen (1991).

A massificação do material depende de padronização. No futuro, a indústria poderá alavancar a produção em série alinhada com o plantio sistematizado para produzir colmos uniformes.

Na sua forma cilíndrica natural, as bicicletas de bambu são um exemplo de sucesso de produção industrial com bambu. Em São Paulo, o Projeto Escolas de Bicicletas do Centro Educacional Unificado (CEU) Jardim Paulistano, irá fornecer bicicletas de bambu para o transporte de 4,6 mil alunos da rede municipal. Doze jovens, contratados pelo Instituto Parada Vital, produzem 50 bicicletas por dia na fábrica de bicicletas para que os alunos de 12 a 14 anos se desloquem para as escolas em comboios de bicicletas acompanhados por monitores, como mostra a Figura 66.

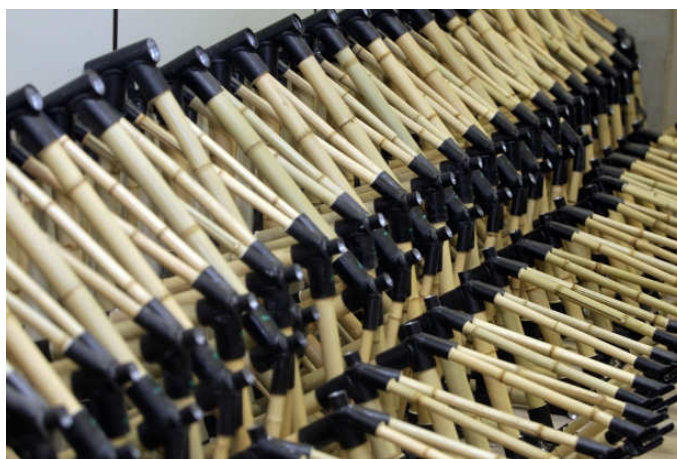


Figura 66: Fábrica de bicicletas de bambu CEU Jardim Paulistano, Brasilândia, SP. (Fonte: Jornal O Estadão, 2012)

Por esses fatores, o uso industrial do bambu na construção civil baseia-se fundamentalmente nos bambus prensados ou laminados, mais conhecidos por BLC (Bambu Laminado Colado) como mostra a Figura 67.



Figura 67: A) e B) bambu laminado colado (Pereira, 1997 apud Moizés, 2005); C) BLC em camadas verticais (Fonte: Zen Bamboo, apud Moizés, 2005) e D) BLC com uma camada (Fonte: C Bamboo, 2012 apud Moizés, 2005)

Outra forma de beneficiar o bambu industrialmente é a trituração do colmo do bambu em partículas e seco em estufa para em seguida misturar com o adesivo e prensar, processo semelhante ao utilizado para madeira. Podem ser adicionados ao processo resíduos de compensados e esteiras de bambu para produzir os painéis mostrados na Figura 68. (Moizés, 2005). O bambu laminado é utilizado em utensílios domésticos e objetos diversos.



Figura 68: Painéis de partículas de bambu (Fonte: Green Corp; apud Moizés, 2005)

Há também o bambu laminado estrutural da marca registrada Glubam, desenvolvido pela Universidade de Hunan, na China, que produz vigas e pilares como mostra a Figura 69.



Figura 69: Bambu laminado estrutural Glubam (Fontes: Glubam; Our Everyday Earth; Inhabitat, 2012)

Além de laminados para pisos, chamados de *Plyboo* em referência aos laminados de madeira (*plywood*), há também ripas de bambu laminado que são usadas em revestimentos e forros como mostra a Figura 70.

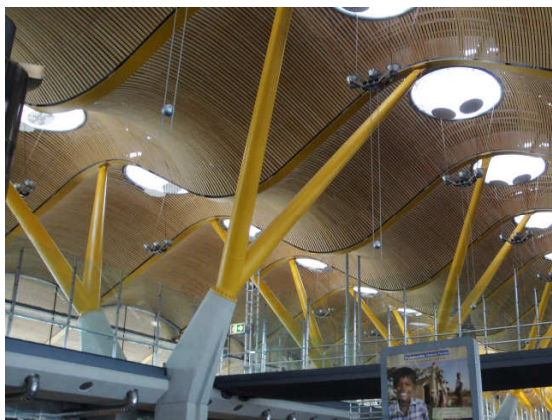


Figura 70: Forro de ripas de bambu no Aeroporto de Barajas, Madri, Espanha, 2010

d) Resistência do bambu

Através de estudos feitos em relação à resistência à compressão, em materiais como a madeira e o concreto, observa-se que o bambu pode ser utilizado como elemento estrutural em substituição a estes materiais, chegando a fornecer melhores resultados em alguns casos. Porém, é importante ressaltar que, tratando-se de peças sujeitas à compressão, não basta realizar uma análise baseada apenas no limite de resistência do material, o qual é independente do tamanho e geometria da estrutura. Nesse, caso, é preciso levar em conta a esbelteza do elemento estrutural, verificando a possibilidade do mesmo falhar por flambagem (Gonçalves, 1994, citado por Teixeira, 2006). Neste estudo essa vulnerabilidade não se aplica, pois utilizamos o bambu em pequenas seções.

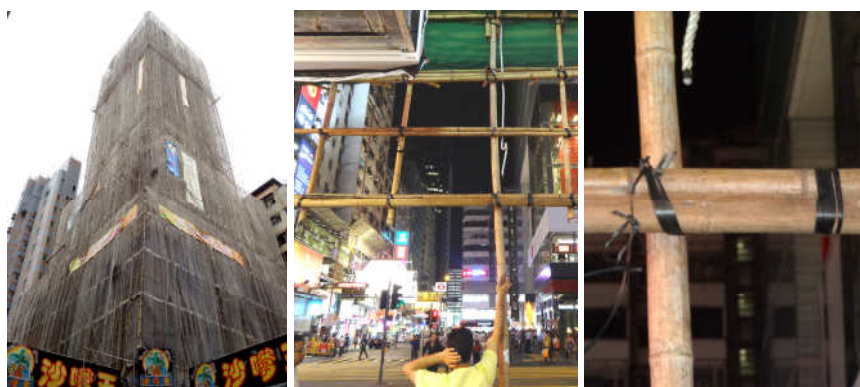


Figura 71: Andaimos de bambu em Hong Kong, 2011

Devido à relação favorável entre a capacidade de suporte de carga e peso, bambu pode ser usado para a construção de andaimes de proteção mesmo para

edifícios muito altos. Andaimos de bambu têm sido utilizados na construção de edifícios na China há mais de mil anos. Hoje em dia, mesmo com a concorrência aberta com muitos sistemas importados de andaimes metálicos em todo o mundo, andaimes de bambu continuam a ser um dos sistemas preferenciais na construção civil em Hong Kong e de áreas vizinhas. Fu (1993) citado por Chung (2002). A resistência do bambu ao fogo é considerada relativamente boa devido ao alto conteúdo de ácido silícico em sua superfície externa e alta densidade. De acordo com a norma alemã DIN 4102 (Comportamento ao fogo de materiais de construção), o bambu é classificado como inflamável, mas dificilmente combustível. Preenchido com água, a resistência do colmo de bambu aumenta e pode suportar a temperatura de 400° C enquanto a água ferve no seu interior. (Laroque, 2007).

3.1.2. Placas recicladas

Segundo John (2000), a construção e a demolição são também a maior fonte de resíduos. Paradoxalmente, a construção do abrigo proposto neste trabalho utiliza resíduos ao invés de gerá-los. John & Zordan (2001) apontam que os resíduos reciclados utilizados como matéria prima também podem ser uma ferramenta importante na preservação dos recursos naturais além de reduzir o consumo de energia. Verschleisser (2008) também observa que o lixo é consequência da produção industrial, e ao invés de ser descartado poderia ser utilizado com criatividade para produzir novas formas de abrigo de baixo custo surpreendentes. Neste trabalho foram utilizadas placas de material reciclado para a construção dos painéis e dos abrigos, contribuindo para a retirada de resíduos da natureza.



Figura 72: A) Resíduos industriais de embalagens laminadas com polietileno (Fonte: Ecoway Sistemas de Reciclagem Ltda, 2012); e B) Fabricação de telha reciclada de plástico e alumínio de embalagens longa vida (Fonte: Wikipédia. Autor desconhecido, 2012)

A reciclagem de embalagens longa vida é um processo de reintegração à cadeia produtiva dos materiais componentes. A embalagem longa vida é uma embalagem asséptica para o envasamento e conservação do alimento, é constituída por seis camadas de três materiais: papel, responsável pela estrutura; polietileno de baixa densidade, responsável pela adesão e impermeabilidade entre as camadas; e alumínio, barreira contra luz e oxigênio. O papel representa em média 75%, em massa, o polietileno representa 20% e o alumínio, 5%.

A fabricação de placas e telhas é o processo mais simples para a reciclagem do composto de polietileno e alumínio de embalagens longa vida. Os fardos desse material são recebidos das indústrias de papel e seguem diretamente para o processo de secagem e trituração.

No desenvolvimento do painel sanduíche de bambu sustentável proposto neste trabalho foram utilizadas placas deste material reciclado, em que a matéria-prima provém de embalagens recicladas, chamadas de “longa vida” ou Tetrapak.

Aproximadamente 1.500 embalagens são retiradas dos aterros sanitários a cada placa produzida, que poderiam levar até 450 anos para se decompor no meio ambiente, se essas embalagens fossem parar em lixões ou aterros sanitários.

A proposta de abrigo emergencial apresentada neste trabalho será um núcleo básico utilizando 130 placas recicladas que irão evitar a disposição final de 195 mil embalagens.

Considerando-se que o Brasil produz anualmente em torno de seis bilhões de unidades, com aproximadamente 15% deste total sendo parcialmente reciclado, os outros 85% das embalagens usadas é enterrada como lixo, segundo Schmutzler (2001). Essas embalagens jogadas no lixo ocupam um espaço de aproximadamente cinco milhões de metros cúbicos.

De acordo com estes dados, podemos dizer que 26.153 abrigos são jogados no lixo todos os anos.

a) Vantagens das placas recicladas

As embalagens de leite longa vida também são utilizadas como redutores de temperatura em forros e paredes, como solução de baixo custo para habitações populares. Schmutzler (2001) realizou testes em janelas de vidro voltadas para o norte com incidência direta do sol e, com cortinas

confeccionadas com embalagens planificadas de leite longa vida, obteve redução da temperatura desde 15,4 ° C a 19,7 ° C. A Tabela 15 enumera algumas vantagens deste material:

Tabela 15-Vantagens das placas recicladas de Tetrapak

▪ Resistência à umidade
▪ Resistência à exposição solar
▪ 100 % recicladas e recicláveis
▪ Resistência a agentes químicos em geral
▪ Auto-extinguíveis, não propagam chamas
▪ Fácil fixação, não trincam sob a penetração de pregos e parafusos
▪ Isolamento termo-acústico
▪ Podem receber chapisco, argamassa e textura
▪ Aceitam tinta acrílica, látex, esmalte sintético, dentre outras
▪ Aceitam colas de contato e adesivos em geral

Fonte: IDHEA, 2012

3.1.3. Adesivo à base de óleo de mamona

a) Mamona

A mamona, outrora utilizada somente como purgante, pela extração do óleo de rícino, era vista como “mato” pela população, pois era encontrada com facilidade em terrenos baldios. Suas propriedades não eram conhecidas e não havia grande interesse comercial.

Atualmente possui diversas aplicações, vem sendo explorada comercialmente para a produção de biodiesel, para a produção de resina à base de poliuretano vegetal, há estudos para utilização da torta de mamona como ração animal, e também na área médica para implantes ósseos.



Figura 73: A) Mamoeira (Fernando de Noronha, Brasil, 2012); e B) Semente da mamona (Fonte: USDA, 2012)

Um aspecto que influenciou a escolha deste material para a realização deste trabalho foi o princípio da sustentabilidade que determina a utilização de materiais que possam ser encontrados localmente. Segundo Fao (2009), o Brasil é o terceiro maior produtor de mamona, em primeiro lugar está a Índia, com produção de 805 mil toneladas de mamona, seguida pela China com 250 mil e em terceiro o Brasil, com 146 mil toneladas. (Fao, 2009). Sua produção está concentrada nos estados da Bahia (67%), do Ceará (15%), de Minas Gerais (11%) e de Pernambuco (3%), (Fao, 2007).

b) Adesivo

Os sistemas adesivos vêm substituindo os sistemas de fixação mecânica, inclusive em aplicações de interesse industrial devido às vantagens relacionadas ao desempenho das juntas adesivas associado a fatores de produtividade e baixo custo (Silva, Shana. A, et al, 2007).

Embora os adesivos sejam amplamente usados em situações críticas, como na indústria aeronáutica, o uso de colas para aplicações estruturais na indústria de construção civil só agora dá seus primeiros passos. (Kruse, 2010)

Seguindo o princípio sustentável de evitar materiais poluentes, optou-se pela utilização do adesivo à base de óleo de mamona. Os adesivos à base de solventes causam poluição atmosférica e prejudicam a saúde humana e de animais pela liberação de voláteis, além de aumentarem o risco de incêndios, por sua inflamabilidade. (Lefebvre, J. et. al., 2004).

No estado do Rio de Janeiro os adesivos comerciais que emitem solventes na atmosfera, como os adesivos à base de solventes aromáticos foram proibidos desde 1998. (G. Buaszczyk, R. M. C. Santana, M. M. C. Forte, 2006).

Já o adesivo à base de óleo de mamona não oferece perigo à saúde e por isso é também usado na área médica, como biomaterial para reparar defeitos decorrentes de perdas ósseas e na produção de implantes em trabalhos de reconstrução de mandíbulas e crânios. (Ferneda, 2006).

O adesivo escolhido neste trabalho, Imperveg RP 1315A, é uma resina à base de poliuretano vegetal (PU), bi-componente, originado do óleo de mamona.

Outro aspecto analisado para a escolha do adesivo para a colagem dos bambus nos painéis foi quanto à resistência aos esforços que os painéis serão submetidos quando montados para a construção dos abrigos. Alguns estudos já realizados deram resultados positivos nos testes realizados, inclusive comparativamente com outros adesivos comerciais, como no estudo realizado por Buaszczyk et. al.(2006), os adesivos sintetizados apresentaram melhores

resultados quanto à resistência ao cisalhamento do que o adesivo comercial (CM) específico para madeira, sendo esta resistência máxima atingida a partir da segunda semana de aplicação observando-se um patamar de estabilidade.

3.2. Painéis sanduíche

A indústria da construção civil em países como o Brasil é muito pouco padronizada, dificultando a produção em massa. O setor é baseado em uso de mão-de-obra não qualificada ou pouco qualificada e utiliza método construtivo quase artesanal. O uso de tecnologias simples para a produção em massa de abrigos, além do baixo custo é uma solução rápida para situações emergenciais, podendo até ser estendida para moradias permanentes.

As estruturas sanduíche já estão bastante difundidas em diversos segmentos industriais, as indústrias aeroespacial, militar e automobilística, pois a combinação de alta rigidez à flexão e baixo peso resulta numa estrutura muito eficiente.

Na área da construção civil a utilização de estruturas sanduíche ainda é recente. No entanto, já existem componentes no mercado com características bem desenvolvidas, utilizados para divisórias, paredes, pisos, forros, lajes, entre outras aplicações. Esses componentes podem ter atributos de interesse, como resistência a elevadas cargas distribuídas, capacidade de vencer grandes vãos, resistência à umidade e intempéries, excelente isolamento térmico e acústico, alta resistência a impactos, resistência ao fogo e respeito ao meio ambiente.

Comparando-se com os elementos construtivos convencionais como alvenaria ou sistemas pré-fabricados de concreto, os painéis sanduíche podem ser uma alternativa vantajosa (Gagliardo & Mascia, 2010). Para que todas as características e propriedades mencionadas anteriormente sejam atingidas, torna-se necessária a seleção dos materiais que irão compor essas estruturas.

Os painéis pré-fabricados também aceleram o tempo de execução da obra. Esses materiais de múltiplas camadas podem ser utilizados na construção de paredes, pisos, forros, divisórias, portas, painéis, estruturas modulares.

3.3. Desenvolvimento dos painéis sanduíche de bambu (bambuiche) e projeto de abrigo Emergencial

Várias iniciativas de formar painel de múltiplas camadas utilizando-se o bambu foram tentadas, sempre no seu sentido longitudinal, inteiro ou laminado. Porém como o bambu é um material orgânico, a ausência de padronização de

seu diâmetro, bem como a falta de uniformidade na região dos nós são fatores limitantes para sua utilização. A superfície irregular do bambu dificulta sua conexão com as faces externas e impossibilita a padronização da espessura dos painéis.



Figura 74: Os diâmetros variados do bambu (Ariró, Angra dos Reis, 2012, fotos tiradas pela Autora)



Figura 75: Bambu (Ariró, Angra dos Reis, 2013, foto tirada pela Autora) e Esquema de corte transversal do bambu para padronização

Para solucionar esse problema e se obter uma espessura padrão, que pode ser mais robusta ou mais delicada, de acordo com a finalidade do painel, foi utilizado o bambu na seção transversal, cortado em fatias, sempre com a mesma espessura, definida previamente, para utilização como núcleo do painel sanduíche. Neste trabalho foi utilizada a seção transversal do bambu, que possibilitou padronizar a espessura dos painéis, e, além disso, obter um material extremamente resistente, pois as fibras do bambu possuem resistência comparada à do aço. (Ghavami, 1992). Foram desenvolvidos painéis padronizados e abrigos modulares para que funcionem como o embrião de uma construção que poderá ser ampliada mais tarde.

Os nós não foram utilizados, pois além de serem mais pesados que os colmos são menos resistentes pela configuração desordenada das fibras (Ghavami & Marinho, 2005). Esse conjunto de “rodela” de bambu compõe a estrutura alveolar que forma o núcleo do painel sanduíche.

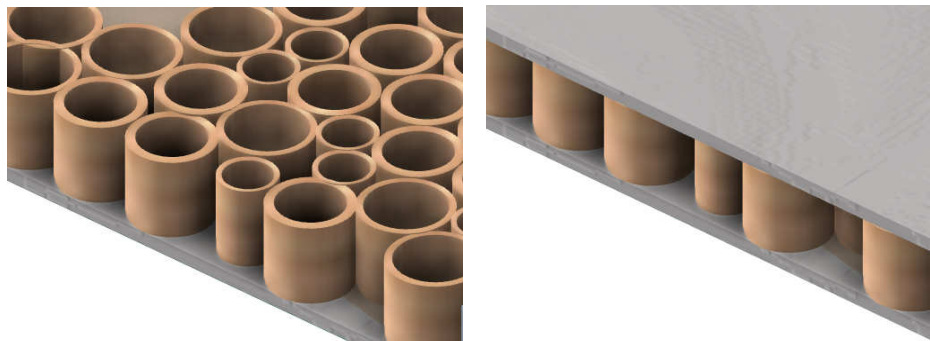


Figura 76: Painel sanduíche com núcleo de bambu (bambuiche)

O conceito dessa pesquisa está no desenvolvimento de painéis sanduíche de bambu para substituir as paredes convencionais e solucionar o problema do tempo de montagem do abrigo emergencial. O painel sanduíche de bambu foi desenvolvido a partir de materiais reciclados e sustentáveis, considerando-se aspectos importantes para o desenvolvimento dos abrigos emergenciais como, baixo custo do material, construção seca, recursos renováveis, rapidez na montagem e a quantidade reduzida de energia para a produção dos materiais e dos painéis. Projetos de estruturas do tipo sanduíche têm sido concebidos e adotados como um meio de gerar estruturas resistentes, duráveis e de baixo peso. Estruturas sanduíche são constituídas por duas ou mais camadas de materiais diferentes (Gagliardo & Mascia, 2010). De acordo com Tita (2007), essas estruturas constituem um tipo especial de laminado. As faces têm a função de suportar as tensões normais de tração, compressão ou cisalhamento associadas à flexão. O núcleo, por sua vez, deve manter o afastamento das faces e ser suficientemente rígido na direção perpendicular a elas, a fim de evitar o esmagamento, e sua rigidez ao cisalhamento transversal deve ser grande o suficiente para garantir que o conjunto funcione.

Desta forma, criou-se o painel sanduíche com núcleo alveolar de bambu unido às faces de resíduos de tetrapak por meio de adesivo natural extraído do óleo de mamona. O painel sanduíche terá 1,10 m de largura por 2,20 m de comprimento e pesa aproximadamente 50 kg.

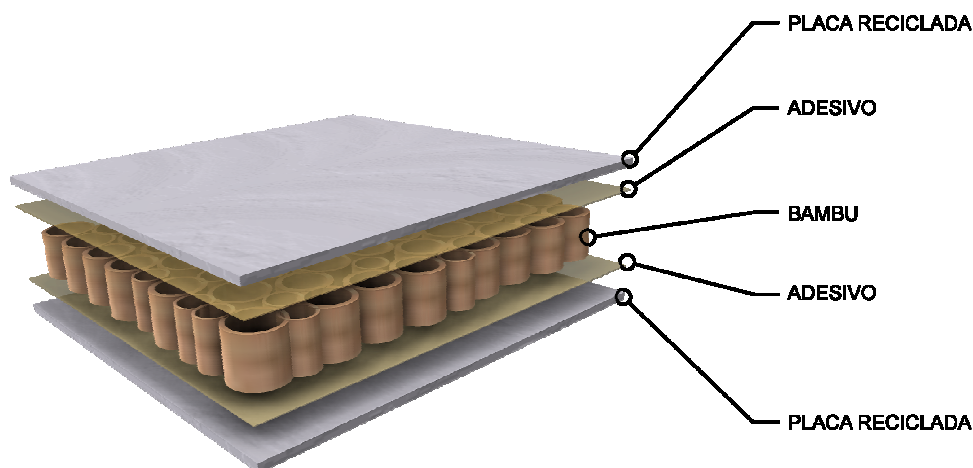


Figura 77: Painel sanduíche de bambu alveolar (bambuiche)

A Tabela 16 mostra a sequência de montagem do painel sanduíche de bambu.

Tabela 16 - Etapas da montagem dos painéis sanduíche de bambu - Bambuiche

<p>a) Aplicação do adesivo numa face interna da placa reciclada;</p> <p>b) Colocação dos alvéolos de bambu na superfície coberta com o adesivo;</p> <p>c) Colocação do perfil lateral de aço para fechamento do painel;</p> <p>d) Colocação do painel colado com o núcleo de bambu (superior) na placa reciclada já com o adesivo aplicado (inferior);</p> <p>e) O tempo de cura é de 8 dias no mínimo, e o painel foi comprimido com peso distribuído de aproximadamente 50 kg.</p>			

3.4. Proposta de desenvolvimento de abrigo emergencial

Para o desenvolvimento do abrigo emergencial proposto neste trabalho, foram tomados por base os manuais e as diretrizes divulgadas por entidades reconhecidas internacionalmente.

De acordo com a UN-Habitat, que tem a experiência de mais de sessenta anos em Ajuda Humanitária, a solução para a necessidade global de abrigo vai além de um simples projeto, precisa contemplar diversos aspectos. Para auxiliar

outras entidades em respostas a desastres e conflitos, manuais, como o Shelter Project 2009, são publicados com exemplos de programas realizados, para que sirvam de guia para outras iniciativas. São mostrados inclusive os prós e contras dos diferentes projetos para exemplificar as diversas opções viáveis. Seu foco principal é mostrar os projetos que maximizam os recursos disponíveis em suporte à reconstrução sustentável.

As diretrizes para uma construção sustentável, de acordo com o CIB (1999) *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*, Holanda (1999), são as seguintes:

Tabela 17- Diretrizes para uma construção sustentável

a) busca de materiais renováveis;	✓
b) busca de materiais recicláveis/ reutilizáveis;	✓
c) facilidade de desmontagem;	✓
d) padronização de dimensões;	✓
e) baixo conteúdo energético;	✓
f) materiais não tóxicos.	✓

Fonte: International Council for Research and Innovation Building Construction, Holanda (1999).

A padronização das dimensões para o desenvolvimento de abrigos emergenciais foi conseguida através da modulação, que também facilita a expansão de uma unidade básica acrescentando-se outros módulos. Atendendo ao desempenho ambiental requerido pelo projeto e aos requisitos de sustentabilidade, foram utilizados materiais reciclados, renováveis, de baixo conteúdo energético, não tóxicos, e também facilmente encontrados no mercado e produzidos no Brasil. Atoxicidade é um fator importante, pois o uso de substâncias tóxicas como tintas, vernizes, colas voláteis pode trazer consequências à saúde pela contaminação o ar interno das edificações.

a) Matéria prima transformada em habitação

Caixas de leite usadas e descartadas, pedaços de bambu, gramínea que cresce rapidamente e mamona, facilmente encontrado na natureza, constituem a matéria prima do abrigo desenvolvido neste trabalho. Soluções técnicas sustentáveis de ventilação, iluminação naturais, e reaproveitamento de água de chuva também, foram incorporadas no projeto do abrigo aqui proposto.



+



+



Figura 78: Caixas de leite longa vida (RJ, 2012)

Figura 79: Bambu (Ariró, 2013)

Figura 80: Mamona (F. de Noronha, 2012)

=



Figura 81: Abrigo emergencial

3.4.1. O projeto

O abrigo emergencial foi projetado para uma família de até cinco pessoas, com área igual a 24, 20 m². Pelas diretrizes das Nações Unidas deve-se utilizar o cálculo de 3,5 m² por pessoa, sendo 18, 00 m² o mínimo aceitável para cinco pessoas. O módulo é composto por banheiro e cozinha na parte central, sala e quarto nas laterais, podendo ser facilmente acoplado a outros módulos para expansão desta unidade básica.



Figura 82: Projeto do abrigo em planta



Figura 83: Fogueira central. Vila Banpo (XI' An, China, 2011)

Cozinha central, como nos abrigos da Vila Banpo, onde o fogo central era utilizado como lareira para aquecimento do abrigo e também para cozinhar

▪ Água da chuva

Estão previstas neste modelo, calhas nas extremidades do telhado para coleta da água da chuva e armazenamento para utilização nos sanitários.

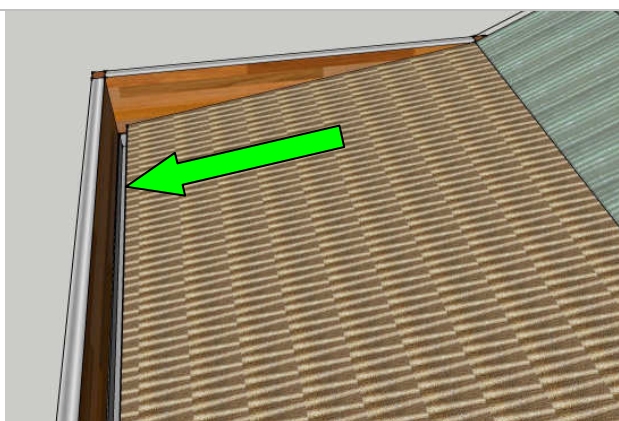


Figura 84: Calha para recolhimento de água da chuva



Figura 85: Direcionamento da água da chuva (Camarões, África. Fonte: Vitruvius, Autor: Gonzalo Vélez, 2005)

▪ Ventilação

A colméia de bambu no módulo central funciona como escape para o ar quente que tende a subir, por convecção, permitindo a ventilação natural. Como nas tendas dos Beduínos e nas tendas “Tipi”, há uma abertura na parte superior do abrigo para forçar a saída do ar quente.

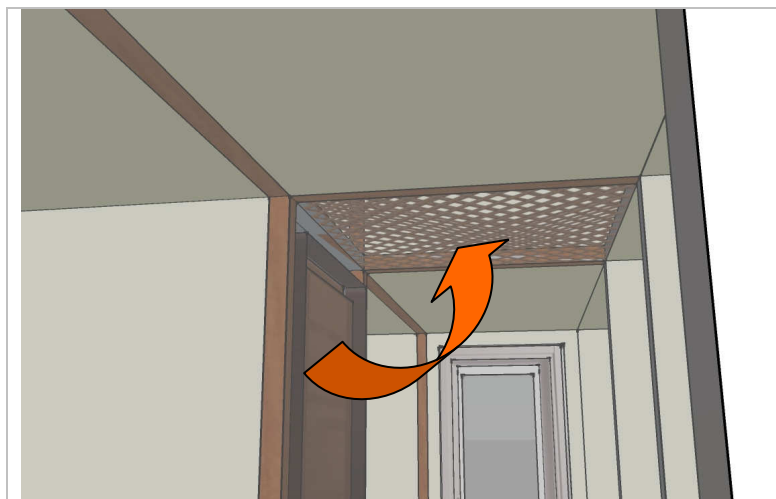


Figura 86: Ventilação

O módulo central é coberto com telhas transparentes para permitir a entrada de luminosidade evitando o uso de energia elétrica durante o dia para iluminar a cozinha e o banheiro. O ar quente que sobe pelo forro de colméia de bambu vai para o exterior do abrigo pela abertura em treliça na empena do telhado central.

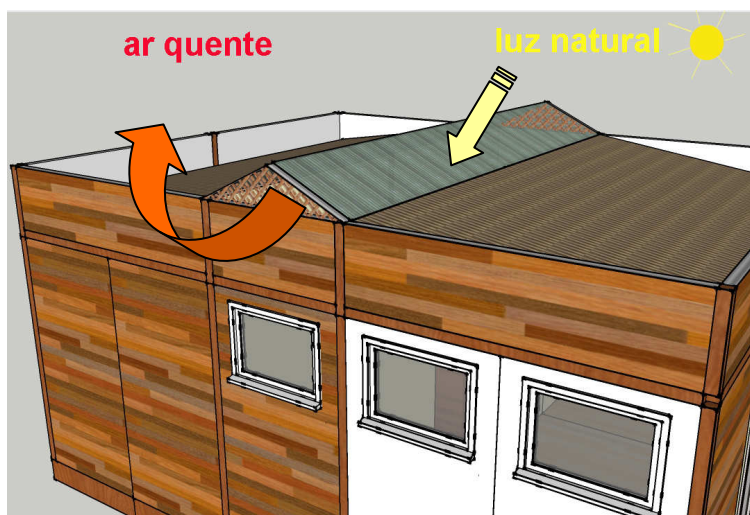


Figura 87: Ventilação e Iluminação naturais

3.4.2. Montagem

A montagem do abrigo neste tipo de projeto é feita por peças, no método conhecido como *kits-of-parts*. As peças que constituem o abrigo são transportadas totalmente desmontadas e a montagem total é realizada no local. Primeiro monta-se a estrutura do piso, em seguida os pilares e os painéis que compõem os pisos, paredes, e em seguida o forro e o telhado.

Este tipo de abrigo foi projetado para ser totalmente desmontável e dividido em pacotes para facilitar o transporte, de acordo com as dimensões dos

containers e de caminhões utilizados nas operações. O tempo de montagem estimado é de dois dias considerando-se duas pessoas trabalhando nesta montagem.

a) Projeto “kits-of-parts”

A montagem do abrigo neste tipo de projeto é feita por peças, no método conhecido como *kits-of-parts*. As peças que constituem o abrigo são transportadas totalmente desmontadas e a montagem total é realizada no local. Primeiro monta-se a estrutura do piso, em seguida os pilares e os painéis que compõem os pisos, paredes, e em seguida o forro e o telhado.

Este tipo de abrigo foi projetado para ser totalmente desmontável e dividido em pacotes para facilitar o transporte, de acordo com as dimensões dos *containers* e de caminhões utilizados nas operações.



Figura 88: Projeto de abrigo com montagem por peças

▪ Método de montagem

Neste método cada peça é montada individualmente. Este tipo de abrigo é indicado para locais de difícil acesso para caminhões e máquinas de grande porte. As peças são transportadas em pacotes de dimensões compatíveis com os meios de transporte disponíveis.

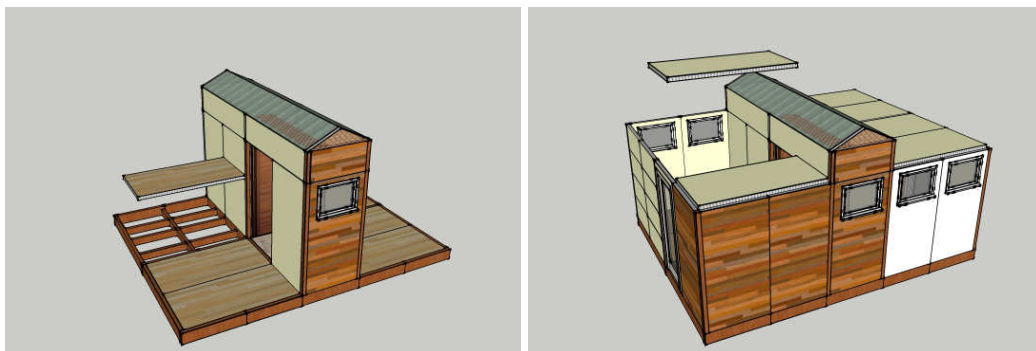


Figura 89: Montagem das peças isoladamente

A montagem deste abrigo é mais complexa e requer um manual detalhado para que pessoas sem conhecimento do método de montagem possam fazê-lo com sucesso. As peças deverão ter algum tipo de sinalização para ajudar sua identificação e o encontro com seus pares. A montagem do abrigo que utiliza esta tecnologia é mais demorada e em algumas situações pode necessitar de assistência técnica ou pessoal especializado. Pode ser montado por duas ou mais pessoas.

b) Projeto paralelo dobrável e paralelo giratório (classificação Frei Otto, 1964)



Figura 90: Projeto de abrigo dobrável com módulo central fixo

Técnica de dobramento paralelo como na cobertura do Viena City Hall



Figura 91: Cobertura desmontável - Viena City Hall, Viena (Fonte: Seele, 2012; Arquiteta: Silja Tillner)

Este tipo de abrigo é composto por um módulo central fixo que contém a cozinha e o banheiro. O telhado, o piso e as paredes desmontam utilizando técnicas mistas de dobramento classificadas por Frei Otto (1964). O telhado e o piso dobram sob a técnica giratória paralela e as paredes dobram e deslizam sobre o piso utilizando a técnica de dobradura paralela.

Este abrigo foi projetado para ser transportado em *containers* e caminhões. Esta técnica de montagem necessita de maquinário de grande porte para erguer

o abrigo e colocá-lo no solo em que será implantado. Este tipo de abrigo é mais indicado para lugares próximos aos centros urbanos, que contam melhor infraestrutura para acesso e circulação de caminhões.

▪ Método de montagem

O telhado é composto por duas águas que giram em torno de um eixo fixo, e o piso também, utilizando a técnica giratória paralela.



Figura 92: Abrigo desmontado

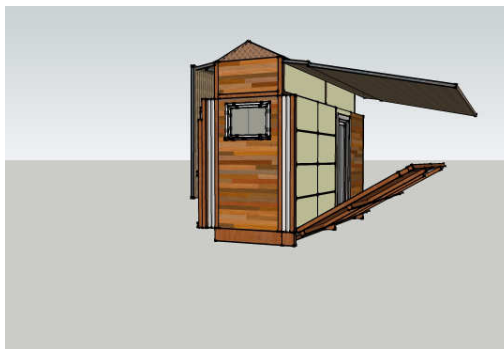


Figura 93: Montagem giratória

Após a abertura do telhado e do piso, as paredes são desdobradas até o ponto de apoio do telhado e neste ponto são fixadas.



Figura 94: Montagem por desdobramento



Figura 95: Após montagem das partes

Este tipo de abrigo é muito fácil de montar e não exige conhecimento prévio, pode ser montado facilmente por duas pessoas. Porém a expansão deste tipo de abrigo requer adaptações no telhado para acoplamento de outros módulos. Esta composição é indicada para ocupações temporárias.

c) **Projeto desmontável - técnica paralelo giratório** (classificação
Frei Otto, 1964)

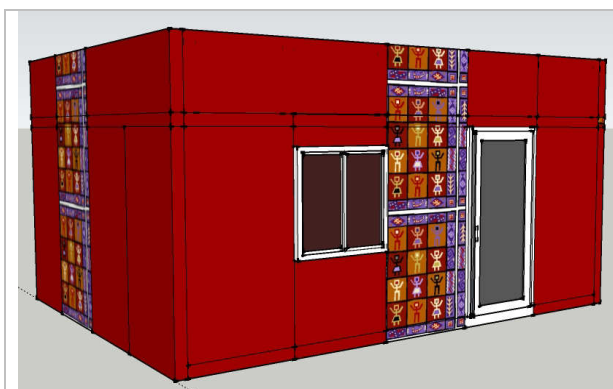


Figura 96: Modelo de abrigo com montagem giratória

Padronagens típicas podem ser utilizadas para identidade cultural

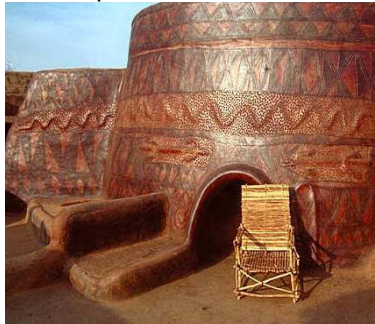


Figura 97: Gurunsi-tiebele, África
(Fonte: Dan Heller, 2012)

Este projeto é reduzido contém área para dormitório e estar, foi idealizado para assentamentos com banheiro e cozinha coletivos. A montagem deste tipo de abrigo é dividida em três passos: estrutura de suporte (fundações e piso), vedação (paredes) e cobertura (forro e telhado). A decoração externa pode seguir os padrões culturais da região em que será montado o abrigo.

O abrigo foi projetado para ser desmontável e foi dividido em dois pacotes iguais para facilitar o transporte, de acordo com as dimensões de *containers* e de caminhões.

▪ **Método de montagem**

As imagens mostram, em sequência, a montagem e desmontagem dos módulos.

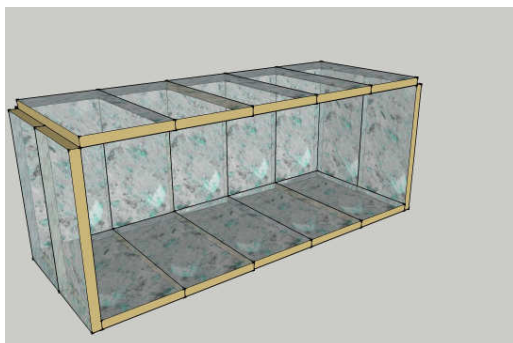
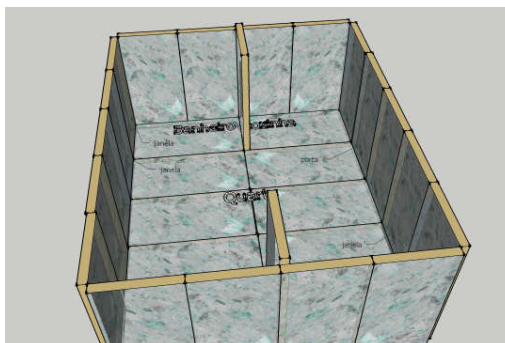


Figura 98: A) Parte 1 montada;



B) Vista interna das partes 1 e 2

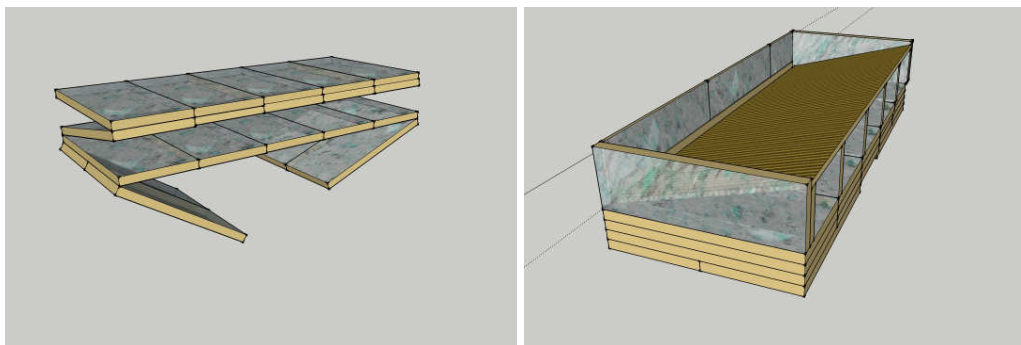


Figura 99: A) Parte 1 desmontada;

B) Telhado – parte 1

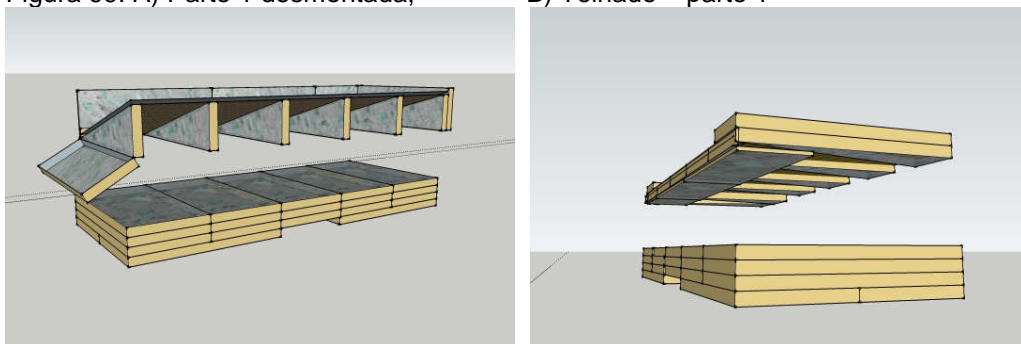


Figura 100: A) Desmontagem do telhado

B) Abrigo desmontado

Para transportar o abrigo desmontado poderá ser utilizado um caminhão do tipo baú, ou um container, com seis metros de comprimento, onde cabem duas unidades com 24,00 m² cada uma.



Figura 101: Transporte dos abrigos emergenciais. A) Containeres (Cybervida, 2012); e B) Caminhão-baú de 6,00 metros (Água Verde, Curitiba, 2012)

▪ Acabamentos e Expansão

O abrigo pode ser fornecido na cor básica branca, ou até mesmo sem cor, para que o morador personalize como melhor lhe convier. Mas, também pode ser padronizado de acordo com a cultura local ou com as cores e logotipos do patrocinador.

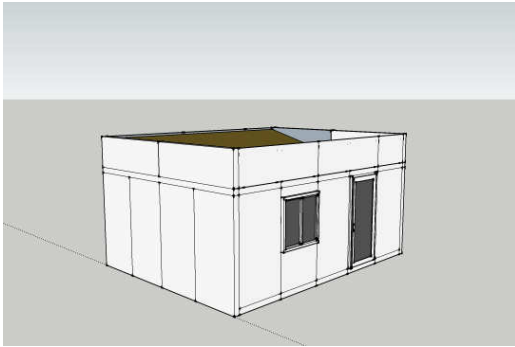


Figura 102: Módulo básico

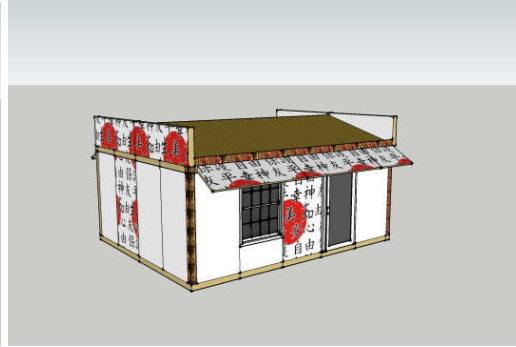


Figura 103: Refletindo a cultura local



Figura 104: Refletindo a cultura local



Figura 105: Expansão

O módulo básico, ou núcleo da habitação poderá ser expandido posteriormente. Outros módulos poderão ser acrescentados, podendo inclusive vir a se tornar uma moradia definitiva, como mostra a Figura 105.

O material utilizado para compor os painéis sanduíche aceita qualquer tipo de revestimento convencional podendo receber tinta, revestimentos cerâmicos, pedras decorativas, adesivos, texturas, etc. Desse modo, o abrigo pode se tornar uma habitação permanente, ou quando não for mais necessário, poderá ser desmontado e transportado para outro lugar, ou guardado para ser utilizado em outra ocasião.

4

Estudo experimental

4.1. Preparação do material

O desempenho mecânico dos corpos de prova foi avaliado pelas normas técnicas *ASTM Standard C393-00* e *ASTM Standard C364-99*, recomendadas para painéis do tipo sanduíche e materiais similares, para obtenção das propriedades do material ensaiado. Tendo em vista que se trata de um material único e não há estudos realizados para comparação, foram utilizadas as normas existentes para madeiras que são freqüentemente utilizadas para outros materiais como bambu (D'Almeida, 1981 apud Miskalo et al, 2009), e placas recicladas de tetrapak. Os corpos-de-prova foram preparados no Laboratório de Estruturas e Materiais do Departamento de Engenharia Civil da PUC-RJ.

a) Bambu

O processo começou com a preparação do núcleo cortando-se transversalmente as varas de bambu em peças com altura igual a 48 mm. A altura das peças do núcleo determina a espessura do painel sanduíche de bambu internamente. Essa espessura é determinada pelo perfil de aço que fará o fechamento interno do painel sanduíche de bambu nas suas laterais. Os colmos do bambu foram “fatiados” em seção transversal utilizando-se serra de bancada.

Os nós foram desprezados para que o diâmetro das peças fosse o mais homogêneo possível e porque são mais pesados.

As paredes retilíneas têm maior área de aderência e podem melhorar a função estrutural na formação da colméia com as peças de bambu “fatiadas”.

A Figura 106 mostra a preparação para o corte, o gabarito da espessura e o bambu cortado no formato de fatias, pronto para formar a colméia.

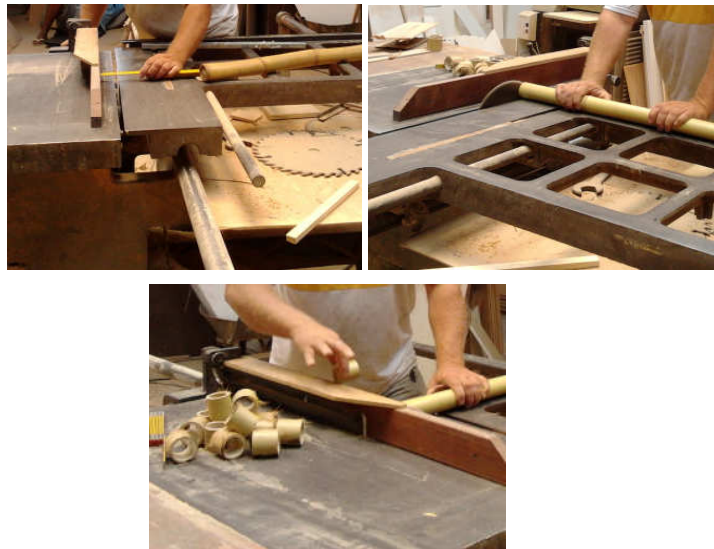


Figura 106: Sequência de preparação e corte do bambu (Marcenaria, Guaratiba, Rio de Janeiro; 2012)

A dificuldade encontrada na preparação do bambu para o corte foi manter o colmo no esquadro. Os nós, que têm diâmetro maior que os entrenós, têm contato direto com a bancada da serra, criando um vão entre os entrenós e a bancada. Esse espaço desestabiliza a peça à medida que vai sendo cortada. Outro ponto a ser observado, é que os diâmetros dos nós da mesma peça nem sempre são iguais, e isso pode dar diferença no corte fazendo com que as extremidades do alvéolo não fiquem paralelas como deveriam, mesmo usando a régua como guia.

Foram feitos cortes com serra de bancada e serra de fita, e a dificuldade encontrada foi a mesma em relação ao esquadro. Porém o corte da serra de fita foi melhor em relação à camada externa do bambu, que na serra de bancada, que em alguns casos, deixaram farpas que tiveram que ser lixadas posteriormente. A camada externa do bambu às vezes “desfia”, por ser mais fibrosa.

Nenhum outro tipo de tratamento ou preparação foi realizado nas rodela de bambu após o corte.

b) Placas

Na sequência, as placas recicladas de tetrapak foram cortadas nas dimensões determinadas pelas normas técnicas ASTM Standard C393-00 e ASTM Standard C364-99 para a realização dos ensaios utilizando a bancada de

serra do Laboratório de Estruturas e Materiais da PUC-RJ. Foram utilizadas duas placas para compor as faces externas do sanduíche.

As placas quando utilizadas individualmente são flexíveis e por isso são subutilizadas em aplicações secundárias, tais como: tapumes, forros, paletes, proteção de piso, revestimento de paredes, etc.

Porém, quando compostas com o núcleo de bambu alveolar, formando o painel sanduíche desenvolvido neste trabalho, sua conformação muda completamente e se torna um material nobre que pode ser utilizado na habitação substituindo materiais convencionais, como será mostrado.



Figura 107: Flexibilidade da placa de tetrapak isolada (Fonte: Engeplas, 2010)

c) Aplicação de resina e montagem dos painéis

A preparação da resina Imperveg 1315-A teve início com a mistura dos componentes A e B num recipiente plástico. Os componentes foram misturados na proporção de 1:1,5 (uma parte do componente A + uma parte e meia do componente B), em volume, respectivamente. A resina foi aplicada na superfície das placas, e em seguida foram colados os alvéolos de bambu. A colagem foi realizada em duas etapas. Primeiro, as peças de bambu foram coladas em um dos lados num painel e ficaram sob leve pressão. Para a cola não escorrer prejudicando o contato do bambu com o painel, foi dado um tempo de espera de 120 minutos para a resina secar parcialmente entrando no ponto de gel para realizar a colagem do outro lado. Em cada placa foram aplicadas duas camadas de resina de óleo de mamona em apenas uma face, com trincha 45 mm de cerdas naturais. Após a aplicação da resina numa das placas, os alvéolos de bambu foram colocados lado a lado em forma de colméia.



Figura 108: Aplicação da resina numa face da placa (Laboratório PUC-Rio, 2012)

Após 2 horas de secagem foram aplicadas duas camadas de resina na outra placa e esta colocada sobre a placa já colada com os alvéolos de bambu e prensadas com peso distribuído de aproximadamente 50 kg, e temperatura ambiente de aproximadamente 28°C.

O fabricante recomenda que o procedimento não seja realizado quando a umidade relativa do ar esteja elevada, pois pode comprometer o desempenho do material. Assim sendo, foi tomado o cuidado de não realizar o processo de colagem em dia chuvoso, já que todo o procedimento foi realizado em ambiente natural. Nessas condições, o tempo total de secagem da resina é de seis horas, porém a cura final, segundo o fabricante, ocorre em sete dias, quando se obtém melhor resistência mecânica.

Após a retirada dos pesos verificou-se que o conjunto estava totalmente colado. Embora haja irregularidades na placa e no corte dos bambus verificou-se que o painel apresentava boa adesão.



Figura 109: Corpos-de-prova dos painéis colados

4.2. Descrição dos métodos de ensaio

Este estudo apresenta um material criado para solucionar a necessidade de abrigo em situações de emergência. Devido à inexistência de materiais similares, visto que o painel sanduíche de bambu desenvolvido propõe o uso de materiais não convencionais e uma tecnologia inovadora, não há normas

estabelecidas para realizar os ensaios. Por isso os testes foram adaptados a partir de materiais conhecidos como madeira, aço e concreto.

As técnicas construtivas escolhidas, baseadas em materiais não convencionais na construção civil, requerem uma série de verificações quanto à resistência e à durabilidade das soluções. Para conhecer as propriedades dos materiais a serem utilizados foram realizados ensaios mecânicos de resistência do material estudado. Algumas propriedades dos materiais industrializados utilizados foram fornecidas pelos fabricantes, como recomendam Gagliardo & Mascia (2010), assim, foram utilizados dados dos ensaios encomendados pelo fabricante das placas recicladas ao IPT, e do fabricante da resina.

Desse modo, foram realizados ensaios de resistência à compressão simples dos materiais isoladamente e depois do painel sanduíche de bambu, ensaios de cisalhamento do núcleo do painel para se obter a resistência do adesivo, e, finalmente os ensaios de resistência à flexão do painel sanduíche de bambu.

Para conhecer as propriedades da resistência do conjunto placa-adesivo-bambu do painel-sanduíche criado neste trabalho, foram realizados ensaios em laboratório.

Os corpos-de-prova foram submetidos a ensaios de flexão, compressão e cisalhamento visando a obtenção de valores confiáveis das propriedades do material necessários para o dimensionamento e espaçamento das peças estruturais do projeto do abrigo emergencial. Estes parâmetros foram obtidos através das normas técnicas da *American Society for Testing and Materials – ASTM Standard C393-00: standard test method for flexural properties of sandwich constructions* e *ASTM Standard C364-99: standard test for edgewise compressive strength of sandwich constructions*. Estas normas determinam a geometria dos corpos-de-prova, relacionando proporcionalmente as dimensões da largura, altura e espessura das placas e do núcleo, assim como a relação entre as células do núcleo e a largura da placa, e também a velocidade de deslocamento do cabeçote móvel (*crosshead*) da máquina de ensaios.

a) **Caracterização física**

A densidade dos componentes do painel sanduíche de bambu foi obtida a partir de medições em laboratório, informações dos fabricantes e trabalhos anteriores (Tabelas 18 e 19). A densidade do bambu, segundo Laroque (2007), depende de sua umidade relativa e pode variar de 500 a 800 kg/m³.

b) Caracterização mecânica

Os ensaios mecânicos foram executados no Laboratório de Estruturas e Materiais com a máquina de ensaio EMIC modelo DC3000 e velocidade de operação de 0,5 mm/min, dotada de sistema computadorizado TESC com emissão de relatório com dados e gráficos dos ensaios, coleta de dados de carga e deslocamento, no Laboratório do Instituto Tecnológico (ITUC) da Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-RJ. A máquina Universal de Ensaios INSTRON N 6233 Modelo 5500R, operada pelo software *Bluehill*, também foi utilizada nos ensaios. As deformações foram registradas até chegar à carga de ruptura ($P_{\text{máx}}$) e velocidade de deslocamento de 0,01mm/min a 1,0 mm/min. Os deslocamentos foram medidos utilizando-se um *clip gage* INSTRON serial N 1194 com abertura máxima de 50 mm. As flechas nos ensaios de flexão foram medidas com o Relógio Comparador da marca MITUTOYO de menor divisão igual a 0,01 mm e limite superior da faixa nominal da escala de 10 mm.

Tabela 18 - Densidade dos materiais utilizados

Material	Densidade
Bambu – <i>Phyllostachys aurea</i>	808 kg/m ³ a
Placa reciclada	1050 kg/m ³

a Densidade do bambu Fonte: Rosa (2005)

Tabela 19 - Propriedades da Resina de Mamona

Tensão de ruptura à tração	15 MPa
Resistência à compressão	28 MPa
Alongamento de ruptura	+/- 8%

Fonte: Ensaio encomendado pelo fabricante ao IPT

4.3. Ensaios de flexão em 3 pontos

Esses ensaios foram realizados para investigar o comportamento mecânico em flexão do painel sanduíche de bambu, e obter os dados da tensão em flexão, módulo de elasticidade, flecha e deslocamento. Foram realizados de acordo com a norma ASTM C 393-00 – *Standard Test Methods for Flexural Properties of Sandwich Constructions*.

O ensaio foi realizado com quatro corpos de prova sob carregamento em três pontos, sendo que o carregamento máximo ocorre exatamente na metade da distância entre os dois apoios fixos (*span*). Essa distância entre dois apoios

fixos, *span*, foi de 400 mm e a velocidade de ensaio constante e igual a 1 mm/min.

Como esquema estrutural foi adotado um painel sanduíche de bambu simplesmente apoiado submetido a um carregamento na metade do vão. A força foi aplicada utilizando-se um atuador servo-hidráulico da marca INSTRON serial N1194 dotado de sistema computadorizado para controle de variáveis do ensaio e coleta de dados de força e deslocamento, no Laboratório do Instituto Tecnológico (ITUC), da PUC-RJ. O ensaio foi realizado com controle de deslocamento, com velocidade de 1,0 mm/min, a temperatura de 23°C. As deformações foram registradas até chegar à carga de ruptura ($P_{\text{máx}}$) para uma taxa de aplicação de deslocamento de 0,01 mm/s. Para medir os deslocamentos foi usado um *clip gage* INSTRON de serial N 1194 com abertura máxima de 50 mm. A Figura 110 mostra o esquema estático e de carregamento.

GRÁFICO DA FÓRMULA DE FLEXÃO

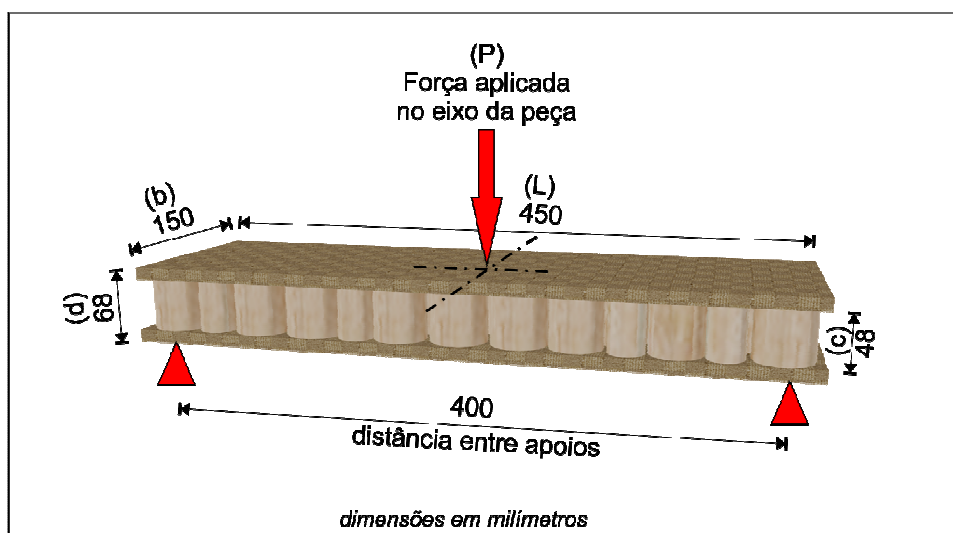


Figura 110: Exemplo do carregamento no ponto central e esquema (ASTM C 393-00)

Avaliação da rotina de cálculo

Tensão de Flexão:

$$\sigma = \frac{PL}{2t(d+c)b}$$

P = Carga (N)

L = Comprimento (mm)

t = Espessura das placas

d = Espessura (altura) do sanduíche (mm)

c = Espessura do núcleo (bambu) (mm)

b = Largura do sanduíche (mm)

Deflexão no Meio (flecha):

$$\Delta = \frac{PL^3}{48D}$$

Δ = deflexão total da viga no meio do vão (mm)

L = comprimento do vão (mm)

D = rigidez à flexão do painel (N/mm²)

Da formula da deflexão obtém se a Rigidez, assim:

$$D = \frac{PL^3}{48\Delta}$$

Da norma ASTM C393 – 00, tem se a fórmula da Rigidez (para faces iguais):

$$D = \frac{E(d^3 - c^3)b}{12}$$

E = módulo de elasticidade da face (MPa)

E assim, pode se encontrar o Módulo de elasticidade (E):

$$E = \frac{12D}{(d^3 - c^3)b}$$

No ensaio de flexão, a superfície que está recebendo a carga recebe os esforços de compressão, e a superfície oposta à aplicação da carga fica sob o esforço de tração. Exatamente nestas duas superfícies que se observam respectivamente, o máximo esforço de compressão e o máximo esforço de tração. Ao longo da espessura do corpo de prova, a intensidade destes dois tipos de esforços diminui progressivamente até atingir o ponto médio onde não há qualquer tipo de esforço. Portanto, falha na superfície oposta à aplicação da carga é suficiente para determinar o fim do ensaio. Não houve quebra dos corpos de prova ou mesmo falha na superfície oposta à aplicação da carga. Houve um descolamento do núcleo causado pela flexão da placa e os ensaios foram suspensos.



Figura 111: Painel sanduíche de bambu submetido ao ensaio de flexão

As Figuras, 112 e 113 mostram as curvas de tensão em função do deslocamento, e carga em função da flecha, respectivamente. A Tabela 20 apresenta os valores da resistência à flexão, da flexa e do módulo em flexão, calculados de acordo com a norma ASTM C393-00.

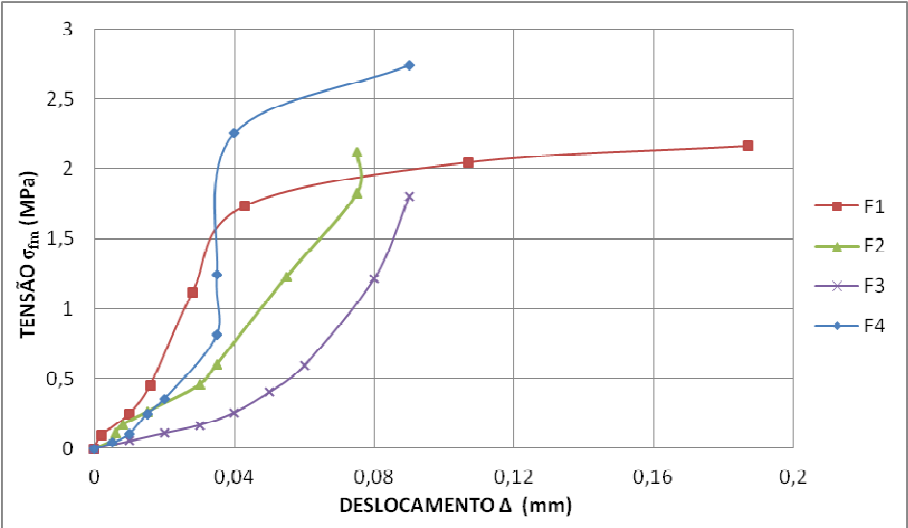


Figura 112: Tensão média de flexão (σ_{fm}) vs. deslocamento (Δ) do painel sanduiche de bambu

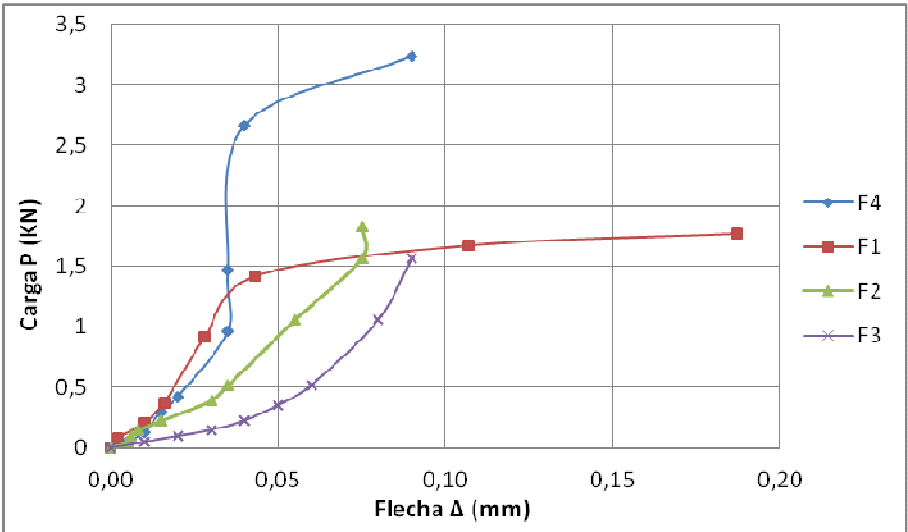


Figura 113: Carga (P) vs. flecha (Δ) no ensaio de flexão do painel sanduiche de bambu

Tabela 20 - Resultados dos ensaios de flexão

CP	σ (MPa)	τ (MPa)	Δ (mm)	E (GPa)	Carga (Kgf/m2)
F1	2,468	0,117	0,20	5,67	3433,33
F2	2,236	0,112	0,09	11,31	3309,69
F3	1,916	0,096	0,13	6,71	2833,33
F4	2,904	0,189	0,15	8,33	5898,21
Média	2,38	0,13	0,14	8,01	3868,64
Desvio Padrão	0,416	1,041	0,046	2,46	1377,55

σ : Tensão normal; τ : tensão cisalhante; Δ : Deflexão no meio; E: Módulo de elasticidade

Logo, as médias dos valores encontrados são:

σ : Tensão normal da flexão = 2,38 MPa
τ : tensão cisalhante ou transversal da flexão = 0,13 MPa
Δ : Deflexão no meio ou flecha = 0,14 mm
E: Módulo de elasticidade = 8,01 GPa
Carga Máxima = 3868,64 kgf/m ²

Os dados iniciais de deformações e tensões, obtidos dos ensaios feitos nos laboratórios, foram corrigidos tirando os valores correspondentes às cargas de acomodação respectivas para cada um dos testes, porém isto não influencia os cálculos dos módulos de elasticidade, obtidos de acordo com as normas para cada ensaio. Cabe ressaltar que essa correção permite organizar os dados de forma a visualizar as tendências das curvas e reduz as faixas de valores de tensões e deformações entre as quais se encontram os dados de cada teste.

Os ensaios feitos no laboratório ITUC, usando clip gage para medir deformação, geraram dados apenas como uma referência para cada tipo de ensaio, sendo que seu principal objetivo era encontrar a resistência máxima. Não foi especificada a obtenção de módulo de elasticidade. Assim sendo, seria necessário aplicar um fator de correção para obter valores mais coerentes com os esperados para o tipo de bambu usado, que são aproximadamente 10 vezes maiores que os valores encontrados, conforme dados conhecidos de ensaios de caracterização do bambu usados em outros trabalhos de dissertações, teses e artigos relacionados.

4.4. Comparação dos resultados com outros painéis

Os painéis sanduíche desta investigação associaram propriedades de três materiais distintos para melhorar as características mecânicas da estrutura. Para compor as faces do painel sanduíche foram utilizadas placas de material reciclado com núcleo formado por bambu fatiado em alvéolos formando uma estrutura em forma de colméia, unidos por resina vegetal poliuretana extraída da mamona. A norma de Desempenho ABNT NBR 15575-2 – Requisitos para os sistemas estruturais, item 7.3.2.2 estabelece que:

“Quando a modelagem matemática do comportamento conjunto dos materiais e componentes que constituem a estrutura não for conhecida ou consolidada por experimentação, ou não existir norma técnica, permite-se, desde que aplicado a edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, estabelecer uma modelagem matemática do comportamento conjunto para as deformações de serviço através de ensaios destrutivos e do traçado do correspondente diagrama carga x deslocamento.”

Como não há material de comportamento mecânico semelhante nem normas técnicas específicas, foram tomadas como base para análise e comparação as informações referentes aos elementos de construção com as mesmas funções do painel sanduíche de bambu aqui desenvolvido, tais como paredes divisórias, alvenaria de vedação e alvenaria estrutural.

a) Comparação do peso do painel sanduíche de bambu

Segundo Nunes (2005), o peso médio da alvenaria convencional utilizando blocos cerâmicos de seis furos é de 98,00 kg/m², enquanto a alvenaria composta por esteira de bambu revestida de argamassa teve peso médio de 36 kg/m². O painel sanduíche de bambu desenvolvido, composto por núcleo alveolar de bambu e placas recicladas apresentou um peso médio de 21,15 kg/m².

Tabela 21- Comparação do painel sanduíche com outros painéis de vedação

Alvenaria Convencional	Painel de Bambu e Argamassa	Placa Cimentícia Wall-Eternit	Bambuiche
98,00 kg/m ²	36,00 kg/m ²	37,51 kg/m ²	21,15 kg/m ²

4.5. Comparação dos resultados da flexão

Os painéis foram ensaiados à flexão aplicando-se o carregamento no meio do vão ao longo da largura. Para cada modelo obteve-se um valor da carga de fissuração. Verificou-se para a maioria dos corpos-de-prova ensaiados deformação excessiva do painel sanduíche de bambu e uma fissuração caracterizada por pequenas falhas na aderência do adesivo junto à superfície da placa. Para todos os corpos-de-prova o ensaio foi interrompido por causa da deformação e abertura de fissuras no adesivo. A Figura 114 mostra o ensaio de um corpo-de-prova num momento próximo da ruptura da aderência do núcleo com a placa, onde se observa o painel sanduíche de bambu bastante deformado.



Figura 114: Deformação do painel sanduíche de bambu durante o ensaio

Para todos os corpos-de-prova, as fissuras entre o adesivo e o núcleo de bambu se desenvolveram durante o ensaio passando para a placa comprimida. As fissuras foram aumentando em abertura e extensão, à medida que a força era aplicada, provocando um descolamento inaceitável. Nos deslocamentos a perda da rigidez pode ser atribuída a:

- a) Fissuração do adesivo;
- b) Desfolhamento da placa;
- c) Movimentação entre o núcleo e as faces.

O momento de fissuração de um elemento fletido com seção tipo sanduíche com faces de placa reciclada e núcleo de bambu foi calculado com boa aproximação utilizando-se as hipóteses de painel segundo a norma ASTM 393-00 – *Standard Test Methods for Flexural Properties of Sandwich Constructions*. Pode-se observar que as falhas ocorreram inicialmente nas placas e que os materiais isoladamente têm maior resistência do que em conjunto.

Comparação com outros painéis de matrizes: polimérica e cimentícia:

a) Matriz polimérica

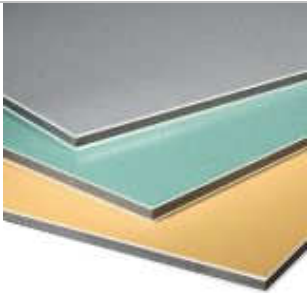
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Painel ACM – (<i>Aluminium Composite Material</i>)-painel composto por duas chapas de alumínio e núcleo de polietileno de baixa densidade utilizado para vedação de fachadas.
---	---

Figura 115: Painel ACM (Fonte: Alibaba, 2012)


	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Painel Alucore – painel sanduíche de alumínio composto por núcleo de <i>honeycomb</i> (colméia) e peso reduzido.
---	--

Figura 116: Painel ACM (Fonte: Alibaba, 2012)

b) Painéis cimentícios

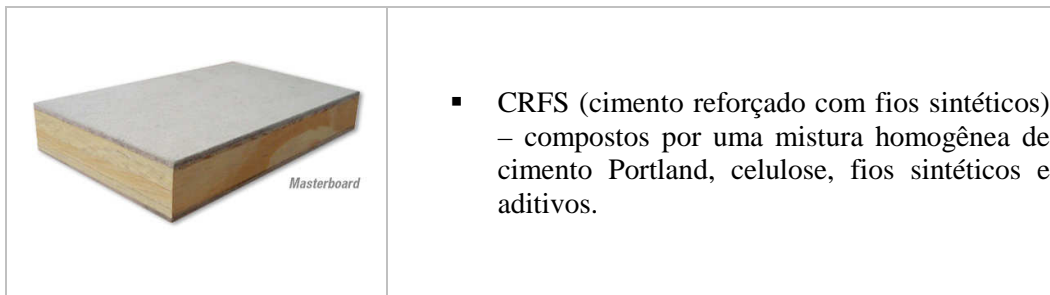


Figura 117: Paineis CRFS (Fonte: Brailit, 2012)

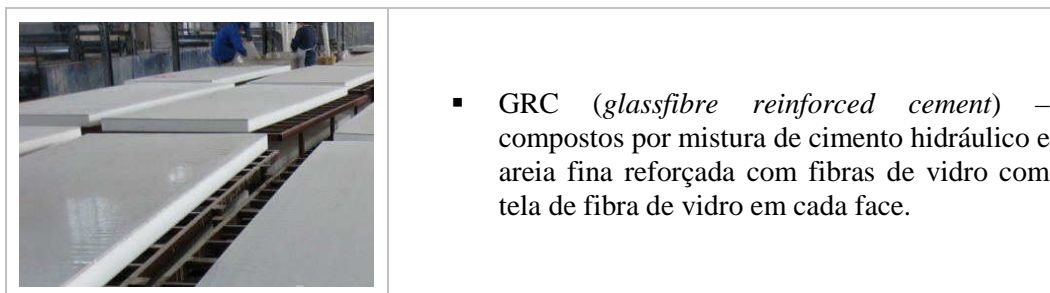


Figura 118: Paineis GRC (Fonte: Alibaba, 2012)

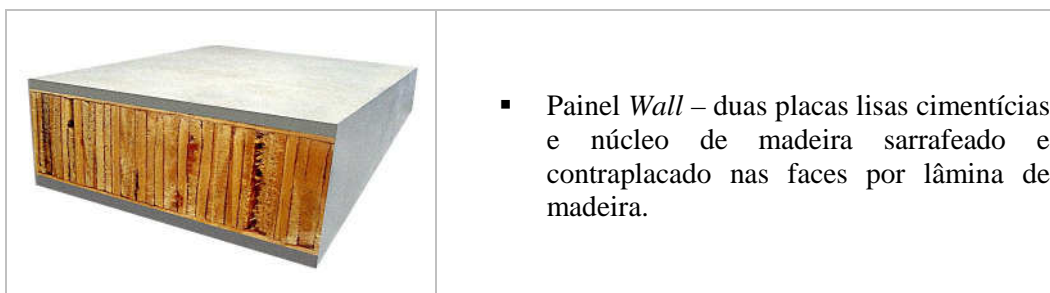


Figura 119: Paineis CRFS (Fonte: Madel, 2012)

Tabela 22 - Comparação de painéis sanduíche

Painel						Painel sanduíche de bambu
Propriedades	ACM	Alucore	CFRS	GRC	Wall-Eternit	
Resistência à flexão (MPa)	130		14	10 a 30	0,0049	2,38
Módulo de elasticidade (GPa)	70	70	7	10 a 20		8,01
Peso kg/m ²	4,5 a 7,3	4,9 a 7,8	32,0	16,5	37,51	21,15

Fonte: ALCAN (2007) apud CHAVES & CUNHA (2009)



Figura 120: Painele sanduíche de bambu e tetrapak desenvolvido neste trabalho

c) Comparação com outras placas:

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gesso acartonado - composto majoritariamente no seu interior por gesso sendo depois aplicada uma película de celulose de papel na superfície em forma de lâmina.
--	--

Figura 121: Gesso Acartonado (Fonte: Sul Módulos, 2012)

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ MDF (medium-density fiberboard) - fabricado através da aglutinação de fibras de madeira com resinas sintéticas e outros aditivos. As placas de madeira são coladas umas as outras com resina e fixadas através de pressão.
--	--

Figura 122: Painele MDF (Fonte: Wikipedia, 2012)

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gustafs Panel Systems – placas formadas por núcleo de gesso e partículas de madeira e revestidas por madeira maciça.
--	--

Figura 123: Painele Gustafs (Fonte: Gustafs, 2012)

A Tabela 23 compara a densidade e a resistência ao fogo com outros painéis, pelo I_p (índice de propagação de chama) segundo a NBR 9442/1986 - Determinação do Índice de Propagação de Chama pelo Método do Painel Radiante.

Tabela 23- Densidade e índice de propagação de chama (I_p)

Propriedades	Gesso acartonado	MDF	Painel Gustafs	Placa reciclada
Densidade kg/m ³	685 a 934	780	1250	1050
Índice de Propagação Superficial de Chama (IPSC)	Classe A ^a	Classe AII ^b	Classe D ^b	Classe D ^c

Fonte: ^aKern (1999), ^bEurodivisal (2007) apud Chaves et al; ^cIPSC Placa reciclada – IPT, 2001.

De acordo com a NBR 9442/1986, as classes A e E indicam respectivamente o pior e o melhor desempenho. Assim, a placa reciclada utilizada neste trabalho, que possui a classificação D, segundo ensaios encomendados pelo fabricante e realizados pelo IPT, e enquadra-se quase no limite máximo, podendo ser considerada praticamente auto-extinguível. O painel sanduíche de bambu desenvolvido neste trabalho utiliza nas faces, um material que é isolante térmico, resistente às intempéries, às chamas e aos fungos.

As estruturas sanduíche se caracterizam por duas placas intercaladas por núcleo. O núcleo geralmente é constituído de material com baixa densidade e menos resistente que as placas. A associação dos materiais torna o conjunto mais resistente à flexão, em determinadas condições, do que a placa maciça constituída pelo mesmo material (Galgiardo & Mascia, 2010).

E, ao contrário dos painéis comumente usados, as placas recicladas utilizadas nas faces são menos resistentes que o núcleo, porém, neste caso, a resistência do conjunto é mais importante, porque os esforços atuantes no painel serão absorvidos em conjunto com a estrutura da construção. Galgiardo & Mascia (2010) apontam que os painéis sanduíche devem ser estruturas leves, eficientes e de baixo custo para aplicação na construção civil em substituição aos sistemas tradicionais que utilizam paredes de alvenaria ou sistemas pré-fabricados de concreto.

Outros ensaios de compressão e cisalhamento foram realizados, porém os resultados foram inconclusivos. Os dados fornecidos pelo laboratório não são compatíveis comparados com a literatura, portanto não são confiáveis e precisam ser mais bem estudados. Os estudos, os ensaios realizados e os resultados estão relacionados nos anexos deste trabalho.

5 Conclusão

O abrigo emergencial desmontável apresentado, e o painel sanduíche de bambu desenvolvido atingiram os objetivos deste trabalho.

A proposta de desenvolver um abrigo do tipo embrião pré-fabricado que é um núcleo de habitação, rápido e fácil de montar, desmontável, leve, utilizando materiais sustentáveis, com baixo consumo de energia, utilizando materiais locais, modular, para que possa ser expandido, e que possa ser acrescido e se tornar uma habitação permanente, adicionando-se novos módulos, ou ser desmontado para utilização em outro lugar, é possível com o projeto apresentado e com o painel sanduíche de bambu desenvolvido.

Atendendo ao desempenho ambiental requerido pelo projeto e aos requisitos de sustentabilidade, foram utilizados materiais reciclados, renováveis, de baixo conteúdo energético, não tóxicos, e também facilmente encontrados no mercado e produzidos no Brasil.

O Abrigo Emergencial apresentado neste trabalho atendeu às Diretrizes para uma construção sustentável publicadas pelo CIB (1999) *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*, Holanda (1999) em todos os itens, tanto em relação ao material utilizado quanto ao projeto e método construtivo:

- ✓ Materiais renováveis
- ✓ Materiais recicláveis/ reutilizáveis
- ✓ Facilidade de desmontagem
- ✓ Padronização de dimensões
- ✓ Baixo conteúdo energético
- ✓ Materiais não tóxicos

Os requisitos da Agenda 21 para o Consumo e Produção sustentáveis e Conservação e Gestão dos Recursos Naturais foram totalmente atendidos nos seguintes itens:

- ✓ Economia de água na construção

- ✓ Alta disponibilidade de recursos naturais
- ✓ Alta capacidade de renovação dos recursos utilizados
- ✓ Pouca energia embutida no ciclo de vida
- ✓ Baixo consumo de energia/m² construído e por produção de componentes
- ✓ Baixa emissão de poluentes no ar interno
- ✓ Não emissão de CO₂ e outros gases de efeito estufa na produção
- ✓ Não utilização de resíduos tóxicos e metais pesados
- ✓ Não utilização de substâncias tóxicas

Parcialmente atendido, pois utiliza água na produção do material, no item:

- ✓ Economia de água na produção

Não pode ser avaliado nos itens referentes a transporte porque são inerentes a cada caso particularmente:

- ✓ Distância transportada
- ✓ Emissões no transporte

O abrigo emergencial desenvolvido contempla os requisitos exigidos para abrigos temporários, de acordo com a definição de abrigo temporário (Transitional Shelter Guidelines, p.12), o abrigo temporário deve poder:

- ✓ Ser transferido para outro lugar
- ✓ Ser fácil de desmontar
- ✓ Ser fácil de transportar para o terreno do beneficiário
- ✓ Ser uma solução durável para que possa ser aumentado
- ✓ Incorporar benfeitorias
- ✓ Virar habitação permanente

O abrigo emergencial apresentado neste trabalho pode ser transportado em containers ou caminhões, e os painéis, individualmente, podem ser transportados e montados com facilidade, por duas pessoas.

O tempo de montagem estimado é de dois dias, considerando-se que será montado por duas pessoas.

O produto final deste trabalho é um abrigo constituído pelos painéis sanduíche de bambu totalmente sustentáveis desenvolvidos, atingindo os objetivos iniciais.

A padronização das dimensões para o desenvolvimento de abrigos emergenciais foi conseguida através da modulação, que também facilita a expansão de uma unidade básica acrescentando-se outros módulos.

Os painéis sanduíche com núcleo de bambu representam uma inovação, e para conhecer suas propriedades, foram testados sob cargas de compressão axial, flexão e cisalhamento.

Os resultados experimentais foram analisados e discutidos com base em comparações com outros elementos construtivos que desempenham as mesmas funções.

A análise experimental preliminar e os resultados apresentados representam o início de uma pesquisa. Por se tratar de um material novo, é preciso realizar inúmeros ensaios, com as diversas possibilidades que o material oferece, além dos outros tipos de ensaios que não puderam ser realizados nesta pesquisa. Todavia, os valores decorrentes dos ensaios realizados são muito importantes para embasar futuras pesquisas.

Ainda não existe norma brasileira que recomende valores de resistência à compressão simples para paredes de alvenaria, somente para componentes, nem tampouco para painéis sanduíche. Segundo Masseto & Sabbatini (1998), por não haver também nenhum método de ensaio padronizado para determinação do módulo de elasticidade de alvenaria, é difícil fazer comparação do desempenho mecânico de painéis.

Os resultados da resistência do painel sanduíche de bambu como substituição à alvenaria estrutural não foram conclusivos. Será necessário realizar novos ensaios em laboratório especializado.

Embora as placas recicladas utilizadas nas faces tenham apresentado resistência inferior aos materiais freqüentemente usados em painéis sanduíche, em conjunto com os componentes do painel sanduíche de bambu sua eficiência se confirmou. Suas outras propriedades, bastante vantajosas em relação a outros materiais como, resistência ao fogo, fungos e capacidade de isolamento térmico e acústico, sugerem que mais pesquisas podem ser feitas no sentido de se adicionar algum material para reforçar a sua resistência e compor o painel sanduíche de bambu com funções estruturais.

O núcleo é suficientemente rígido na direção perpendicular às faces, com resistência superior ao esperado para evitar o esmagamento e os resultados foram bastante satisfatórios.

Os ensaios de flexão, com o objetivo de utilizar o painel sanduíche de bambu na horizontal, como piso, apresentou pouca resistência (2,38 MPa), quando comparado a painéis de cimento, alumínio e fibra. Em relação à madeira sua resistência foi superior. As fissuras ocorreram na aderência com as placas, composta por várias camadas, com seu desfolhamento.

Painéis sanduíche são largamente utilizados em edificações residenciais, comerciais e industriais. Entretanto, a utilização de materiais não convencionais e sustentáveis nesse tipo de estrutura ainda é incipiente, há alguns poucos exemplos na literatura em fase preliminar de estudo, sem aplicação no mercado da construção civil. Considerando a deficiência nessa área do conhecimento científico, este estudo veio contribuir para o desenvolvimento de materiais alinhados com o conceito de sustentabilidade.

As vantagens desse sistema são: a utilização de uma estrutura resistente, redução de peso e conseqüente redução de custos, a redução de estrutura de sustentação, racionalização da construção, possibilidade de construção em locais distantes onde há carência de materiais e de mão de obra, utilização de mão de obra pouco especializada, utilização de resíduos dos centros urbanos, construção seca, rapidez de execução, pouca ou quase nula geração de resíduos, e a possibilidade de expansão e utilização do abrigo como moradia permanente.

Com essas características verifica-se um grande potencial para utilização desse material em todo tipo de construção não só de abrigos emergenciais, como obras residenciais, comerciais e industriais.

A indústria da construção civil está passando por uma fase de conscientização e adaptação às metas de redução de emissões de gases poluentes, reavaliando o uso de matéria-prima não renovável, o alto consumo de energia e a geração de entulho. A atenção a estes aspectos negativos associados aos materiais convencionalmente usados na construção propicia a renovação dos conceitos enraizados, abrindo caminho para novas propostas de utilização de materiais sustentáveis com responsabilidade técnica e ambiental.

A proposta de construção de abrigo emergencial sustentável desenvolvido no presente trabalho, alinhada com os conceitos de sustentabilidade, deu origem ao desenvolvimento do painel sanduíche utilizando materiais renováveis, reciclados, não poluentes, chamados não convencionais.

As pesquisas realizadas neste estudo e o material desenvolvido mostram que é possível produzir materiais de construção a partir de resíduos industriais que seriam descartados no ambiente, poluindo o ar, a água e solo.

Materiais renováveis de origem vegetal em conjunto com resíduos industriais se tornam uma excelente alternativa à construção convencional. A utilização destes materiais poupa a exploração desenfreada dos recursos naturais utilizados para a produção de materiais convencionais, e evita riscos de degradação ambiental.

A contribuição para a redução de emissões de gases poluentes na atmosfera e para o desenvolvimento sustentável, de forma a garantir o futuro das novas gerações pode ir além deste trabalho, utilizando-se o painel sanduíche de bambu desenvolvido em outros tipos de construção, em substituição a outros materiais convencionais responsáveis pelas emissões de gases do efeito estufa na indústria da construção civil.

Ao final deste trabalho, verifica-se que o objetivo principal desta pesquisa foi atingido, com os abrigos modulares pré-fabricados, compostos de painéis-sanduíche de bambu, desenvolvidos para viabilizar a rápida montagem e desmontagem dos abrigos em situações de emergência.

O abrigo emergencial desenvolvido poderá ser utilizado para suprir as necessidades de acolhimento imediato de pessoas desalojadas, desabrigadas ou deslocadas, que poderão afetar entre 25 milhões a um bilhão de pessoas em desastres ambientais, de acordo como o relatório divulgado em maio deste ano pelo Alto Comissariado das Nações Unidas para Refugiados (Acnur), agência especializada da ONU, em decorrência das mudanças climáticas esperadas para os próximos 40 anos, e também é totalmente adequado para qualquer necessidade de moradia, seja ela transitória ou permanente.

5.1. Sugestão para trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se novos ensaios do material, reduzindo-se os vãos entre apoios, na flexão, para distâncias menores que 400 mm. Outros ensaios poderão ser realizados utilizando-se o sanduíche de bambu no tamanho real do painel, com os acabamentos laterais, e com suporte nas extremidades, evitando-se a flambagem e simulando uma situação verdadeira.

O estudo do comportamento à compressão, flexão e cisalhamento do sanduíche de bambu criado neste trabalho pode ser mais explorado, pois os

ensaios realizados não esgotaram todas as possibilidades. O aprofundamento deste estudo poderá chegar a resultados concretos em relação ao melhor dimensionamento dos componentes do sanduíche de bambu e da estrutura de suporte, mais próximo da situação real. A espessura das placas e do núcleo pode ser testada em diferentes composições, assim como os perfis de aço longitudinais que poderão ser colocados não só no fechamento lateral do painel sanduíche de bambu, mas também internamente, como reforço estrutural. O material das faces pode ser constituído por placas de vários outros materiais, ou pode-se adicionar um reforço com fibras na placa reciclada para melhorar sua resistência. O núcleo pode ser testado com outras espécies de bambu ou outras espessuras. E, por fim, o adesivo também pode ser alterado, ou seja, há inúmeras possibilidades que poderão ser testadas e comparadas, apontando-se as características de cada composição, qualidades, defeitos, limitações de uso, falhas, etc. E assim, determinar diferentes tipos de painel sanduíche de bambu com e suas finalidades específicas.

Estudos mais aprofundados a partir de diferentes ensaios de resistência, isolamento térmico, acústico, resistência a ventos fortes, ensaio de corpo mole, corpo duro, arrancamento, etc., poderão ser realizados para homologação do material e utilização em habitação de interesse social, como alternativa às técnicas construtivas convencionais.

Um estudo do ciclo de vida deste material poderá também contribuir para uma avaliação aprofundada do custo da construção para ser comparado ao custo da construção tradicional, tornando o conhecimento do material bastante abrangente.

5.2. Comentários finais

O homem primitivo utilizou as cavernas, formações rochosas favoráveis ao fornecimento de abrigo que a natureza lhe proporcionava para se proteger das intempéries e de predadores. A escassez de alimentos forçou sua locomoção para outras áreas dando início ao processo de nomadismo e com ele a necessidade de produção de abrigos efêmeros ou transportáveis. Para construção de abrigo, o homem sempre utilizou os materiais disponíveis no ambiente em que vivia como galhos, troncos, palha, ou resíduos reutilizados como peles e ossos de animais.

Com a descoberta da agricultura que proporcionou maior disponibilidade de alimento, voltou a fixar moradia, passando a construir com terra, madeira,

pedra, junco, palha, bambu, escolhendo sempre materiais naturais e facilmente encontrados ao seu redor, com a utilização de técnicas e materiais de construção vinculados ao solo ocupado.

Os egípcios construíram seus magníficos túmulos de pedra e moravam em casas de terra, construídas com tijolos feitos com a lama retirada do Nilo, pois valorizavam mais a vida após a morte do que a vida terrena. Os gregos reverenciaram seus deuses construindo seus templos em mármore. E os romanos, que descobriram a *pozzolana*, romperam barreiras construindo edifícios monumentais, com vãos livres jamais conseguidos anteriormente, como o Pantheon de Roma, com sua abóbada esplendorosa, aberta no alto para contemplação do céu.

A técnica dos romanos foi aperfeiçoada com a descoberta do concreto armado e até os nossos dias convencionou-se que esta é a melhor forma de se construir. No Brasil principalmente, quase a totalidade das construções atualmente faz uso de tijolos cerâmicos e de concreto armado como padrão de construção.

A utilização de materiais locais deixou de ser necessária com o avanço dos transportes que, junto com a fabricação dos materiais básicos da técnica convencional de construção, são os vilões da poluição e das emissões de gases do efeito estufa e ainda têm como base a utilização de água que é um recurso natural cada vez mais escasso.

As técnicas de modularização e pré-fabricação, utilizadas pelos gregos, romanos e japoneses nos primórdios das civilizações, para construir seus templos, monumentos e cidades caíram no esquecimento.

Apesar da produção do aço a partir do fim do século XIX ter despertado algumas iniciativas como o Palácio de Cristal, em Londres, dos abrigos Nissen, Airstream, entre outros, o tijolo e o concreto se estabeleceram como materiais convencionais de construção.

Ao fim da 2ª. Guerra Mundial, a necessidade de reconstrução das áreas destruídas, o crescimento populacional e a crise financeira foram fatores que fizeram surgir a demanda por fabricação em massa de habitações de baixo custo, produzidas em série como nas fábricas automotivas. Produzir acomodações portáteis temporárias era a solução mais econômica, e também fácil e rápida.

Historicamente a arquitetura desmontável é a solução apropriada para situações de emergência habitacional. Durante milhares de anos o homem nômade levou consigo sua moradia, que era construída rapidamente, e fácil de

desmontar, a partir de peles de animais, esteiras ou tecidos. Foram encontradas na África, Ásia e Américas, cabanas reminiscentes de povos antigos, com estrutura de troncos que podiam vencer vãos de até dez metros e tinham peso próprio de aproximadamente 5 kgf/m^2 , muito mais leves que o mínimo de 8 kgf/m^2 das estruturas metálicas atuais. (Khan, 1993).

Porém, tanto no Brasil como no exterior ainda há algum preconceito contra a habitação transportável. Embora haja tribos nômades vivendo em tendas desmontáveis que podem ser montados em cerca de uma hora, como os Beduínos, os yurts na Mongólia, os Tuaregs no Saara e as casas-barco no Camboja, o mundo ocidental tem enraizado em sua cultura a construção de pedra, cimento e tijolo, e com raras exceções, aceita o aço como material para construção residencial.

Atualmente a construção civil é essencialmente artesanal. Estruturas compostas por sapatas, pilares e vigas são moldadas no canteiro de obras. Tijolos, telhas e revestimentos cerâmicos são cortados no local de assentamento para que se ajustem aos espaços fora de padrão. Essa tecnologia de construção produz uma grande quantidade de resíduos, além do desperdício. A água, outro recurso natural esgotável utilizado na técnica convencional, não é contabilizada e é essencial para se erguer uma construção deste tipo. A própria indústria de materiais de acabamento, telhas, esquadrias, vidros, laminados, entre outros, não segue um padrão pré-estabelecido para dar suporte à construção modular e ao processo construtivo industrializado e padronizado. A cultura de padronização da construção se perdeu e os poucos que tentaram resgatá-la esbarraram em preconceitos além de não ter uma indústria preparada para atender a esse mercado. Mas, o aumento da população, a demanda por moradia, a chegada da população rural às cidades, as mudanças climáticas, a poluição, e os desastres ambientais, reacendem a necessidade de construção em massa. O melhor caminho para suprir essa necessidade é a produção sustentável de moradias com a utilização de técnicas de construção e de materiais que não agredam a natureza, a qualidade de vida e não poluam o ambiente. Por outro lado, precisamos nos adaptar ao modo de vida moderno. Assim como o homem primitivo se mudava quando os recursos à sua volta se esgotavam, o homem moderno precisa se locomover constantemente à procura de melhores condições de trabalho, parafraseando Milton Nascimento, “Todo profissional tem que ir onde o trabalho está...”. Paradoxalmente, a moradia atual é fixa, cara, e quando financiada pode-se levar mais de vinte anos para pagar.

No entanto, essa mentalidade está começando a mudar, a freqüente mobilidade das pessoas por questões profissionais requer mais flexibilidade na forma de pensar em habitação, e já há um movimento de revitalização da construção portátil. As novas tecnologias e novos materiais revigoraram a portabilidade na arquitetura, e algumas empresas já estão fabricando prédios que valorizam a simplicidade e mobilidade, impulsionadas pela demanda de baixo custo e rapidez.

A cultura enraizada na qual a construção tem que ser durável, sólida e estática precisa ser repensada. As habitações guaranis se biodegradavam após o abandono de seus moradores, assim como os iglus dos *inuits*. Esses povos transformavam materiais naturais em edificações que depois eram desfeitas e se integravam à natureza, sem prejudicá-la. As construções nordestinas em terra às margens do rio São Francisco, que se dissolvem a cada cheia do grande rio, são um exemplo disso aqui no Brasil.

O uso de materiais recicláveis permite o retorno ao ambiente após sua utilização. As construções primitivas utilizavam os materiais disponíveis no local: palha, bambu, madeira e demais fibras vegetais, argila, pedra, e algumas fibras animais, que têm baixo consumo de energia

É preciso haver uma mudança de paradigma em relação às técnicas construtivas, aos materiais convencionais, e ao sistema de moradia para que a indústria da construção civil se adapte aos hábitos da vida atual e atenda às necessidades do planeta, do mundo globalizado, das cidades e da vida urbana.

Este trabalho procurou sintetizar todos estes conceitos com o desenvolvimento do painel sanduíche de bambu, associado às placas recicladas e mamona. O bambu, material natural abundante na natureza, principalmente no Brasil, que se renova após sua retirada, automaticamente, além de seqüestrar carbono da atmosfera. As placas têm propriedades isolantes térmicas e são compostas de resíduos que seriam descartados e ainda, a mamona, que por nascer como mato era considerada uma planta sem importância.

E, com o painel sanduíche de bambu, composto por estes materiais selecionados criteriosamente para prover abrigo rapidamente, foi desenvolvido o abrigo emergencial modular, pré-fabricado, desmontável, atendendo aos objetivos iniciais desta pesquisa.

Bibliografia

ABRIGO DE FOLHAS DE BANANEIRA. Congo. Disponível em: <<http://www.worldvision.com.au/issues/emergencies/pastemergencies/globalupdatecrisisincongo.aspx>>. Acessado em 28 de Abril de 2012.

ABMTENC. Disponível em <www.abmtenc.civ.puc-rio.br>. Acessado em 25 de Agosto de 2012.

ACHÁ, E. **Slab application:** Formwork for bamboo reinforced concrete slab. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, 2002.

AGENDA 21. Disponível em: <www.agenda21grandeporto.com>. Acessado em 28 de Novembro de 2009.

AGENDA 21 FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION IN DEVELOPING COUNTRIES, 2001. First Discussion Document. Ed. Chrisna du Plessis, Version 2. Programme for Sustainable Human Settlements, South Africa, 2001.

AIRSTREAM. Disponível em: <<http://www.flickr.com/photos/skidrd/72499995/>>. Acessado em 27 de Janeiro de 2012.

ALIBABA. Disponível em <www.alibaba.com>. Acessado em 24 de Agosto de 2012.

ALY, V. L. C.; SABBATINI, F. H. **Determinação da Capacidade Resistente do Elemento Parede de Alvenaria Armada de Blocos de Concreto, Submetido a Esforços de Compressão.** Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. USP, 1994.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) - C 364-99-Standard Test Method for Edgewise Compressive Strength of Sandwich Constructions.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) - C 393-00. *Standard* Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions.

AMORIM Jr., W. F. **Processamento de Placa Espessa de Compósito através de Moldagem por Transferência de Resina.** Tese de Doutorado da Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE-UFRJ, 2007. 255 p-

ANDAIMES DE BAMBU. Disponível em: <<http://bambus.rwth-aachen.de/eng/reports/buildingmaterial/buildingmaterial.html>>. Acessado em 20 de Agosto de 2012.

ANDERS, G. C. **Abrigos Temporários de Caráter Emergencial.** Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, 2007. 119p.

ANTÁRTICA. Disponível em:

<http://www.worldoceans.com/m_ant.htm>. Acessado em 30 de Março de 2012.

ARAUJO, D. C., MORAIS, C. R. C., ALTIDES, M. E. D. **Avaliação mecânica e físico-química entre telhas convencionais e alternativas usadas em habitações populares.** Revista Eletrônica de Materiais e Processo, v. 3.2 (2008) 50-56. ISSN 1809-8797. Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Campina Grande, PB, 2008. 7 p.

ARCE-VILLALOBOS, O. A. **Fundamentals of the design of bamboo structures.** Tese de Doutorado. Eindhoven University of Technology, 1993. 281p.

ARMY TECHNOLOGY. Disponível em

<http://www.armytechnology.com/contractors/field/csi/csi1.html>>. Acessado em 14 de Maio de 2012.

ARQUITETURA DA GRÉCIA ANTIGA. Disponível

em:<http://pt.wikipedia.org/wiki/Arquitetura_da_Gr%C3%A9cia_Antiga>>.

Acessado em 13 de Março de 2012.

ARQUITETURA DO FERRO. Mercado São José. Recife. Disponível em:

<<http://www.revistaau.com.br/arquitetura-urbanismo/90/arquitetura-do-ferro-24331-1.asp>>. Acessado em 30 de Abril de 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15575-Edificações habitacionais – Desempenho.

ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS-Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis, UFSC, 1991-2010, 94 p.

AZAMBUJA, M. A. **Estudo Experimental de adesivos para fabricação de madeira laminada colada:** avaliação da resistência de emendas dentadas, da durabilidade e de vigas. Tese de Doutorado. Instituto de Química de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. USP. 2006, 159 p.

AZEVEDO, F. F. N.; BARBOSA, P. C. **Elemento Estrutural em Bambu:** Aplicabilidade do uso de materiais sustentáveis na Construção de um equipamento Urbano. Artigo Seminário Nacional do Bambu - Rede Brasileira de Bambu, 2010.

BAMBOO BUILDING MATERIAL. Shelter Centre. Disponível em:

<<http://sheltercentre.org/library/bamboo-building-material-0>>. Acessado em 01 de Agosto de 2011.

BAMBOO COMPOSITES. Disponível em <www.bamboocomposites.com>. Acessado em 29 de Novembro de 2012.

BAMBOO´S ACROSS THE GLOBE – Disponível em:
<<http://www.bamboocomposites.com/resources.htm>>. Acessado em 24 de Agosto de 2012.

BAMBOO WEB. Disponível em <www.bambooweb.info>. Acessado em 28 de Agosto de 2012.

BANPO-VILLAGE-Disponível-em:
<<http://www.mesacc.edu/dept/d10/asb/china/banpo/banpo.html>>. Acessado em 12 de Março de 2012.

BARBOSA, L. L. Habitar o desastre: projetos urgentes em situações emergentes. Vírus. São Carlos, n. 5, jun. 2011. Disponível em:
<<http://www.nomads.usp.br/virus/virus05/?sec=4&item=8&lang=pt>>. Acessado em: 01 de Agosto de 2011.

BARELLI, B. G. P. **Design para a Sustentabilidade** – Cadeia Produtiva Bambu Laminado Colado (BLC) e seus Produtos – Dissertação de Mestrado-Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2009.

BERTINI, A. A. **Estruturas Tipo Sanduíche com Placas de Argamassa Projetada**. Tese de Doutorado em Engenharia de Estruturas as Escola de Engenharia da Universidade de São Carlos. UFScar, 2002. 221 p.

BIBLIOTECA DIGITAL MUNDIAL DA UNESCO. Disponível em:
<http://www.wdl.org/pt/item/4241/#q=bambu&view_type=gallery&search_page=1&qla=pt>. Acessado em 27 de Março de 2012.

BRAGA ROMANA. Disponível em <www.bragaromana.com>. Acessado em 30 de Novembro de 2012.

BRAICK, P. R. História das Cavernas ao Terceiro Milênio. *São Paulo: Moderna, 2006*. Disponível em :
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Per%C3%ADodo_pr%C3%A9din%C3%A1stico_d_o_Egito]>. Acessado em 18 de Agosto de 2012.

BRASILIT. Disponível em <www.brasilit.com>. Acessado em 24 de Agosto de 2012.

BROWN, A. **The Very Small Home:** Japanese Ideas for Living Well in Limited Space. First Edition. Ed. Kodansha International Ltd., 2005.

BROWN, A.. **Just Enough:** Lessons in living Green from traditional Japan, 2009.

BUASZCZYK, G., SANTANA; R. M. C.; FORTE, M. M. C. **Adesivos de Poliuretana a partir de Óleo de Mamona livre de solventes e catalisadores para aplicação em substratos de Espuma e Madeira**. 17º CBECI Mat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil-Universidade Federal do Rio

Grande do Sul / Escola de Engenharia /DEMAT-Laboratório de Materiais Poliméricos/LAPOL - Porto Alegre, 2006. 10 p.

C BAMBU. Disponível em <www.cbamboo.com>. Acesso em 25 de Agosto de 2012.

CAMELO. Disponível em:

<<http://www.arch.mcgill.ca/prof/schoenauer/arch528/lect02/a48.jpg>>. Acessado em 27 de Março de 2012.

CARDOSO Jr., R. **Arquitetura com Bambu**. Dissertação de Mestrado, Uniderp, UFRGS, 2000.

CARVALHO, J. G. A. **Avaliação de uma Construção utilizando Contabilidade Ambiental em Emergência**. Dissertação de Mestrado de Engenharia de Produção. Universidade Paulista. UNIP, 2010. 246 p.

CASTRO, A. L. C. et. al. **Manual de Desastres: Desastres Naturais**, vol 1. Ministério da Integração nacional. Brasília, 2003. 174 p.

CHAD. Disponível em: <<http://chad.absolutnet.de/chad-itself/unreached-peoples/nomads/nomad-pictures>>. Acessado em 30 de Março 2012.

CHAVES, L.O.R.C., CUNHA, J. **Simulação numérica de painéis pré-fabricados em materiais utilizados como elementos de vedação em edificações**. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil, 2009. 26 P.

CHUNG, K. F.; CHAN, S. L., 2002. **Bamboo Scaffolds in Building Construction: An Alternative and Supplement to Metal Scaffolds**. International Seminar, Hong Kong, 2002. 52 p.

CHUNG, K. F.; YO, W.K.; CHAN, S. L., 2002. **Mechanical Properties and engineering data of structural bamboo**, 2002.

CIVILIZAÇÕES: Egito e Mesopotâmia. Disponível em:

<www.territorios.org/teoria/H_C_egipcia.html>. Acessado em 15 de Março de 2012.

CLIMATE CHANGE 2007: Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability – Disponível em:

<http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch8s8-2-2.html>.

Acessado em 16 de Maio de 2012.

COLEÇÃO HABITARE - Habitações de Baixo Custo Mais Sustentáveis: a Casa Alvorada e o Centro Experimental de Tecnologias Habitacionais Sustentáveis. Disponível em:

<<http://habitare.infohab.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/colecao9/CAP2.pdf>>.

Acessado em 02 de Setembro 2012.

COLLINS, S.; CORSELLIS, T.; VITALE, A. Estudo de Caso: **Transitional Shelter**: understanding shelter from emergency through reconstruction and beyond. Shelter Centre – Innovating Agency. ALNAP (Active Learning Network for Accountability and Performance in Humanitarian Action), 2010.

COMISSAO EUROPÉIA. Agência de Avaliação Ambiental dos Países Baixos.[20?]

CORREA, E. M. **Resistência de painéis OSB fabricados com diferentes resinas à ação de *Coptotermes gestroi* (Wasmann, 1986) (Isoptera: Rhinotermitidae)**. Engenharia Florestal. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007. 23 p.

CORSELLIS, T.; VITALE A. Transitional Shelter: displaced populations. 2005, Oxford: Oxfam GB. Disponível em: <www.sheltercentre.org>. Acessado em 01 de Agosto de 2011.

COSTA, F. X. et. al. Avaliação de teores químicos na torta de mamona. Revista de Biologia e Ciências da Terra. ISSN 1519-5228 -Volume 4 - Número 2-2º-Semestre-2004. Disponível em: <<http://eduep.uepb.edu.br/rbct/sumarios/pdf/tortamamona.pdf>>. Acessado em 03 de Janeiro de 2012.

COSTUMES DO ANTIGO EGITO. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Costumes_do_Antigo_Egito>. Acessado em 13 de Março de 2012.

CRESCIMENTO DO BAMBU. Disponível em: <<http://humanitarianbamboo.org/2009/section-a-2-introduction-to-bamboo/>>. Acessado 25 de Abril de 2012.

CUSACK, V. **Bamboo World**: The Growing and Use of Clumping Bamboos. Ed. Kangaroo Press. ISBN 0 86417 934 0, 1999 . (impressão 2003). 224 p.

CYBERVIDA. Disponível em <www.cybervida.com.br>. Acessado em 30 de Novembro de 2012.

DAN HELLER. Disponível em <www.danheller.com>. Acessado em 15 de Maio de 2012.

DECKER, J., C. **Quonsenhut**:Metal Living for a Modern Age-*Princeton Architectural Press-2005.New York, NY*.FAEGRE, T; **Tents: Architecture of the Nomads**, John Murray (Publishers) Ltd, London, 1979, P1.

DEFESA CIVIL BRASILEIRA. Disponível em: <<http://www.defesacivil.gov.br/desastres/index.asp>>. Acessado em 11 de Fevereiro de 2012.

DEPARTMENT OF HOMELAND SECURITY (USA) - Federal Emergency Management Agency (FEMA). Risk Management Series - **Design Guide**, 2004.

DESSEL, S. V.; CHINI, A. R. **Ridified Pneumatic Composites**: Use of Space Technologies to Build the Next Generation of American Homes. Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY. University of Florida, Gainesville, FL, USA, 10 p.

DFID-DEPARTMENT FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT. **Livro de Referência de Estratégias Sustentáveis para Mitigar os Impactos das Cheias**. Ed. HR Wallingford, 111 p.

DICIONÁRIO HOUAISS DA LÍNGUA PORTUGUESA. Editora Objetiva, 2009. Instituto Antônio Houaiss. 2048 p. ISBN: 9788573029635

DOLNI VESTONICE - Reprodução do modo de vida- Sítio Arqueológico- República Tcheca. Disponível em <<http://grundskoleboken.se/wiki>>. Acessado em 10/09/2012.

EL PROYETO ESFERA. **Carta Humanitaria y Normas mínimas de respuesta humanitaria en casos de desastre**. El Proyecto Esfera, Genebra, Suíça, 2004. 408p.

EMBRAPA MEIO AMBIENTE - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/index.php3?sec=agrog:::81>>. Acessado em 15 de Novembro de 2012.

EMERGENCY APPEALS. Disponível em <<http://www.emergency-appeal.org/>>; Acessado em 28 de Abril de 2012.

ENGEPLAS. Disponível em <www.engeplas.com.br/chapas.html>. Acessado em 28 de outubro de 2010.

ENVIRONMENT – Sustainable Development. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/environment/eussd/>>. Acessado em 11 de Novembro de 2009.

ESCOLA VERDE. Bali-Indonésia. Disponível em: <casaprefabricada.org>. Acessado em 15 de Setembro de 2012.

EUROPEAN COMMISSION. Disponível em <ec.europa.eu>. Acessado em 11 de novembro de 2009).

EVOLUÇÃO DAS TENSOESTRUTURAS. Disponível em: <http://www.lem.ep.usp.br/pef2603/pef2603-Evolucao_das_Tensoestruturas.pdf>. Acessado em 13 de Março de 2012.

FERNEDA, A. B. **Estudo Teórico-experimental do Comportamento Elastoplástico do Poliuretano Derivado do Óleo de Mamona (*Ricinus Communis*)**. 2006.135p. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. 129 p.

FERREIRA, O. P. **Programa Habitare adapta tecnologia de painéis alveolares para habitação popular**. Revista Habitare – Outubro, 2009. Escola de Engenharia de São Carlos / Departamento de Arquitetura e Urbanismo / Universidade de São Paulo, 2009.

FIORELLI, J. et. al. **Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona**: produção e propriedades. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo. USP. Acta Scientiarum Technology. Maringá, v.33, n. 4, p.401-406, 2011.

FLORAÇÃO DA MAMONA. Wikimedia. Disponível em: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ricinus_communis_Mamona.JPG>. Acessado em 27 de Janeiro de 2012.

FÓRUM DA CONSTRUÇÃO. Água como Material de Construção. Eng. Antônio Filho Neto. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=43&Cod=625>>. Acessado em 18 de Agosto de 2012.

FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. **Steel Framing**: Arquitetura. Instituto Brasileiro de Siderurgia Centro Brasileiro da Construção em Aço. ISBN 85-89619-09-4, Rio de Janeiro IBS/CBCA, 2006. 124 p.

FRIEDMAN, N., F. G. Roof Structures in Motion. 2011. Disponível em <<http://www.fib.bme.hu/cs2011/vb2011%20angol%20FRIEDMAN%20page41-50.pdf>>. Acessado em 27 de Março de 2012.

FURUKAWA, C. Como são construídos os Iglus. Universidade de São Paulo (USP), 2012. Disponível em: <<http://mundoestranho.abril.com.br/materia/como-sao-contruidos-os-iglus>>. Acessado em 30 de Janeiro de 2012.

GAGLIARDO, D. P.; MASCIA, N. T. **Análise de estruturas sanduíche**: parâmetros de projeto. Ambiente construído. Departamento de Engenharia Civil Centro Universitário Adventista de São Paulo. Departamento de Estruturas Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo Universidade Estadual de Campinas, 2010.

GHAVAMI, K., MARINHO, A. **Propriedades Físicas e Mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie Guadua angustifolia**. Revista Brasileira de Engenharia, 2005.

GHAVAMI, K. et. al. **Multiscale Study of bamboo Phyllostachys edulis**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Princeton University USA.

GENDER HANDBOOK IN HUMANITARIAN ACTION INTER AGENCY STANDING COMMITTEE. (IASC, 2006). Disponível em: <www.humanitarianreform.org>. Acessado em 01 de Agosto de 2011.

GIL, J. A. V. **Paredes Antigas de Bambu Guadua**. Revista Galeria Bambu, nº 202, Março de 2010.

GLUBAM. Disponível em <www.glubam.com>. Acessado em 25 de Agosto de 2012.

GOBI DESERT-MONGOLIA. Disponível em <www.bluepeak.net>. Acessado em 12 de Março de 2012.

GOBI DESERT-MONGOLIA. Disponível em <www.panoramicjourneys.com>. Acessado em 12 de Março de 2012.

GOVERNO FEDERAL-COMITÊ INTERMINISTERIAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. Decreto no. 6.263, de 21 de novembro de 2007. **Plano nacional sobre Mudança do Clima – PNMC – Brasil**, 2007. 132 p.

GREVEN, H. A., BALDAUF, A. S. F. **Introdução à Coordenação Modular da Construção no Brasil: Uma abordagem Atualizada**. Coleção Habitare/FINEP, Porto Alegre, 2007.

GUIDELINES FOR EMERGENCY ASSESSMENT SHELTER CENTRE. Disponível em: <www.shetercentre.org>. Acessado em 15 de Julho de 2011.

HABITAÇÃO. Disponível em: <<http://www.coladaweb.com/geografia/habitacao>>. Acessado em 13 de Março de 2012.

HABITAÇÃO – Antiguidade. Portal São Francisco. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/agosto/dia-da-habitacao-6.php>>. Acessado em 13 de Março de 2012.

HANDBOOK FOR EMERGENCIES UNITED NATIONS COMMISSIONER FOR REFUGEES (UNHCR, 2007). Disponível em: <www.unhcr.org>. Acessado em 01 de Agosto de 2011.

HERBERS-ALGERIA. Disponível em: <<http://digioll.library.wisc.edu/WebZ/FETCH?sessionid=01-51060-1587642183&recno=5&resultset=10&format=F&next=html/nffull.html&bad=error/badfetch.html&entitytoprecno=5&entitycurrecno=5>>. Acessado em 31 de Março de 2012.

HISTÓRIA DA CHINA. Disponível em: <<http://history.cultural-china.com/en/51History2939.html>>. Acessado em 12 de Março de 2012.

HISTORY WORLD. 2001. Disponível em: <<http://www.historyworld.net/wrldhis/PlainTextHistories.asp?groupid=1549&HistoryID=ab27>>. Acessado em 22 de Março de 2012.

HOWARD, J.; SPICE, R. **Plastic Sheetings**: Its use for emergency shelter and other purposes. AN OXFAM Technical Guide. ISBN 0-85598-140-7, 1989. 34 p.

HUMANITARIAN BAMBOO. Disponível em: <http://humanitarianbamboo.org/2009/section-a-2-introduction-to-bamboo/>. Acessado em 25 de Abril de 2012.

HUMANITARIAN CHARTER AND MINIMUM STANDARDS IN DISASTER RESPONSE SPHERE PROJECT. Disponível em: www.sphere.co.uk. Acessado em 27 de Março de 2012.

IASC EMERGENCY SHELTER CLUSTER – UN-Habitat. SHELTER CENTRE. SHELTER PROJECTS 2008. Disponível em: sheltercentre.org/library/shelter-projects-2008. Acessado em 02 de Maio de 2012.

IATA (International Air Transport Association). Disponível em: <http://www.iata.org>. Acessado 24 de Abril de 2012.

INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DA HABITAÇÃO ECOLÓGICA. Disponível em www.idhea.com.br. Acessado em 15 de Setembro de 2012.

INHABITAT. Disponível em www.inhabitat.com. Acessado em 25 de Agosto de 2012.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Disponível em www.inovacaotecnologia.com.br. Acessado em 29 de Novembro de 2012.

INTERNATIONAL DISASTER DATABASE. Disponível em www.em-dat.net - *Université Catholique de Louvain - Brussels - Belgium*". Acesso: 16/11/2012)

INSTITUTO AKATU. Disponível em: <http://www.akatu.org.br/central/noticias/poder-do-consumidor-pode-frear-mudancas-climaticas-e-garantir-sustentabilidade>. Acessado em 15 de Setembro de 2008.

INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DA HABITAÇÃO ECOLÓGICA. Disponível em: www.idhea.com.br. Acessado em 15 de Setembro de 2012)

INTER-AGENCY STANDING COMMITTEE (IASC) – HAITI SHELTER CLUSTER. Transitional Shelter Technical Guidance, 2010.
INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION. Holanda (1999). Disponível em: www.cibworld.nl. Acessado em 02 de Setembro de 2012.

INTERNATIONAL FEDERATION OF RED CROSS AND RED CRESCENT SOCIETIES (ICRC). **Guidelines for assessment in emergencies**. Genebra, Suíça, 2008.128 p.

JAHN, G. V. Barro, Viento y Sol. Raices de una Arquitectura Africana. Revista-Vitruvius-2005-Disponível em:<<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.057/496>>. Acessado em 30 de Março de 2012.

JOHN, V. M. et. al. **Durabilidade e Sustentabilidade: Desafios para a Construção Civil Brasileira**. Dep. Civil Construction Eng., Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Ed. Eng. Civil, Cidade Universitária, São Paulo, Centre for Built Environment, University of Gävle, Gävle, Sweden.

JUSTE, A. E.; CORREA, M. R. S. **Estudo da Resistência e da Deformabilidade da Alvenaria de Blocos de Concreto submetidas a esforços de Compressão**. ISSN 1809-5860. Caderno de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Carlos, 2005. 29 p.

KENNEDY, K.Habitat for Humanity and urban issues. 2008, volume 15 Number 1. Disponível em: <http://www.habitat.org/theforum/english/pdf/Forum_Urban_Issues.pdf>. Acessado em 17 de Agosto de 2012.

KHALILI, E. N. Lunar, Martian, and Planetary Architecture: Magma, Ceramic, and fused Adobe Structures generated in situ. Disponível em : <<http://calearth.org/building-designs/lunar-and-planetary-architecture.html>>. Acessado em 03 de Janeiro de 2012.

KITS IFRC. Disponível em: <<http://sheltercentre.org/library/ifrc-shelter-kit-ifrc-2010>>. Acessado em 24 de Abril de 2012.

KLEIN, D. L.; KLEIN, G. M. B.; LIMA, R. C. A. **Sistemas Construtivos Inovadores: Procedimentos e Avaliação**. Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais. LEME. Porto Alegre, 2004. 19 p.

KRONENBURG, R. **Houses in motion: The genesis, history, and development of the portable building**. PUB TYPE: Book (ISBN 1854903950). VOLUME/EDITION: K76, 1995.

KRONKA, R. C. **“Impacto e Consumo Energético Embutido em materiais de Construção – Técnicas Construtivas”** - Dissertação de Mestrado apresentada ao IEE/USP - Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, no Programa de Pós Graduação em Energia, 1998.

_____. **Arquitetura, Sustentabilidade e Meio Ambiente**. Revista Técnica, São Paulo, v. 55, n. outubro, 2001. p. 66-69.

KRUGER, E.L., SANTOS, M. D. **O Uso de Terra como material de construção apropriado em habitação popular no Brasil**. Departamento de Construção Civil, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Curitiba, Brasil.

KRUGER, E. L.; DUMKE, E. M. S. **Avaliação integrada da Vila Tecnológica de Curitiba**. Tuiuti: Ciência e Cultura. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia. CEFET, Paraná, 2001. 63 p.

KRUSE, D. Instituto Fraunhofer, Alemanha, 2010. Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=arquitetura-construcao-colada&id=010170100720>. Acessado em 20 de Julho de 2010.

KUUSISTO, T. K. **Textile in Architecture**. Master's Thesis, Master Degree Program in Architecture-Tampere University of Technology, 2010. 97 p.

LAPO, L. E. R. **Engenharias e Tecnologias: Engenharias Bambu Laminado Colado (BLC)**. Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP. 9 p.

LAROQUE, P. **Design of a Low Cost Footbridge**. Master of Engineering in Civil and Environmental Engineering. Massachussets Innstitute of Technology, 2007. 87 p.

LEFEBVRE, J. et. al. **Flame spread of flexible polyurethane foam: Comprehensive study**. Polymer Testing, v.23, 2004. p.281-290.

LENGEN, J. V. **Manual do Arquiteto Descalço**. Porto Alegre:Livraria do Arquiteto; Rio de Janeiro: Tibá, 2004. 608 p.

LÉVI-STRAUSS, C. **Strucctural Antropology**, apud R. Kronenburg, 1958.

LIMA, V. C. **Análise Comparativa entre Alvenaria em Bloco Cerâmico e Painéis em Gesso Acartonado para uso como Vedação em Edifícios: Estudo de Caso em Edifício Multipavimento na Cidade de Feira de Santana**. Departamento de Tecnologia da Universidade Estadual de Feira de Santana. UEFS, 2012, 66 p.

MADEL. Disponível em <Madelcx.com.br>. Acessado em 07 de agosto de 2012.

MAMOEIRA. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Disponível em: <http://www.uesb.br/ascom/ver_noticia.asp?id=2140>. Acessado em 27 de Janeiro de 2012.

MAMONA. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Mamona>>. Acessado em 03 de Janeiro de 2012.

MANHAES, A. P. **Caracterização da Cadeia Produtiva do Bambu no Brasil: Abordagem Preliminar**. Engenharia Florestal. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ. 2008. 39 p.

MANUAL DA PLACA CIMENTÍCIA-DECORLIT. 20pp. Disponível em: <www.decorlit.com.br>. Acessado em 07 de Julho de 2011.

MANUAL CES-Construção Energética Sustentável. (Steel Frame/Wood Frame). Disponível em: <www.lpbrasil.com.br>. Acessado em 04 de Março de 2011.

MANUELIAN, P. D. I.; KONEMANN, V. **Egypt: The World of the Pharaohs** (em alemão). Bonner Straße, Cologne Germany: [s.n.], 1998. 403 p.

MARIE, J. Blocos de Concreto. UFRS. Disponível em: <http://www6.ufrgs.br/napead/objetos/edital13/fase1/49-JeanMarie/blocos_concreto.php>. Acessado em 18 de Julho de 2012.

MARSH. Disponível em: <<http://www.laputanlogic.com/articles/2004/01/28-0002.html>>. Acessado em 31 de Março de 2012.

MASSETO, L. T.; SABBATINI, F. H. **Estudo Comparativo da Resistência das Alvenarias de Vedação de Blocos utilizadas na Região de São Paulo**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, 1998.

MERCADO SAO JOSÉ – Recife, Pernambuco. Disponível em: <<http://www.recife.pe.gov.br/pr/servicospublicos/csurb/mercados.php>>. Acessado em 01 de Maio de 2012.

MERCADO VER-O-PESO- Belém, Pará. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Ver-oPeso-Belem.jpg>>. Acessado em 01 de Maio de 2012.

MICKUTË, M. 2004. Running Head: Roman Colosseum, Echoes from the Colosseum: Building today on yesterday. Disponível em <<http://www.the-colosseum.net/idx-en.htm>>. Acessado em 27 de Março de 2012.

MIGRATION, ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE: Assessing the Evidence-International Organization for Migration. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/54943897/21/Migraton-and-natural-disaster-statstcs>>. Acessado em 16 de Maio de 2012.

MINISTÉRIO DA CULTURA (Brasil). **Mercado São José: Sítios históricos e conjuntos urbanos de monumentos nacionais: norte, nordeste e centro-oeste**. Programa Monumenta, Brasília, 2005.

MISKALO, E. P. **Avaliação do Potencial de Utilização de Bambu (Dendrocalamus giganteus) na Produção de Painéis de Partículas Orientadas**. Dissertação de Mestrado. Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Federal do Paraná, 2009. 130 p.

MI UNIVERSO DIGITAL. Disponível em <www.miuniversodigital.com>. Acessado em 14 de Agosto de 2012.

MOIZÉS, F. A. **Painéis de Bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design de Bauru, São Paulo**. Dissertação de Mestrado, Faculdade

de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, SP, 2007.

MONGOLIA ATTRACTIONS. Disponível em <www.mongolia-attractions.com>. Acessado em 19 de Abril de 2012.

MONGOLIAN YURT. Disponível em: <<http://www.arch.mcgill.ca/prof/schoenauer/arch528/lect02/n02.htm>>. Acessado em 27 de Março de 2012.

MONITORING HOUSING RIGHTS: Developing a set of indicators to monitor the full and progressive realization of the human right to adequate housing UN-Habitat and the Office of the High Commissioner for Human Rights (OHCHR, 2003). Disponível em: <www.unhabitat.org>. Acessado em 01 de Agosto de 2011.

MOREIRA, L. E. **Desenvolvimento de estruturas treliçadas espaciais de bambu**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.

_____. **Aspectos Singulares das Treliças de Bambu: Flambagem e Conexões**. Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Rio de Janeiro. 1998. 280p.

MOREIRA, L. E. RIPPER, J. L. M. **Estruturas Autotensionadas com Bambu e cabos aplicadas a Coberturas Aéreas**. Universidade Federal de Minas Gerais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2010. 19 p.

MOREIRA, J. C. P.; MERA, R. D. M.; MAYORGA, M. I. O. **Análise Revisional de Estudos do Cultivo da Mamona na Região dos Inhamuns, no Estado do Ceará**. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, Rio Branco, Acre, 2008. 10 p.

MSF-Spain *Small Constructions Manual*-2011. Disponível em: <http://sheltercentre.org/sites/default/files/07_introduction_of_the_new_msf_small_constructions_manual_-_msf_-_p_cabrera_0.pdf>. Acessado em 18 de Setembro de 2012.

NETTLES, A. T.; JACKSON, J. R.; GATES, T. S. **Compression After Impact Testing of Sandwich Structures Using a Four Point Bend Test**. NASA Marshall Space Flight Center, NASA Langley Research Center. 16 p.

NEVES, F. L.; NEVES, J. M. **Cartões Multifolhados: Efeito da Interação de Fibras Virgens e Recicladas**. Congresso Ibero-Americano de Investigación em Celulosa y Papel. CIADICYP, 2000. 9 p.

NISSEN HUT. Disponível em:<<http://www.gtevans.co.uk/nissen.htm>>. Acessado em 21 de Março de 2012.

NISSEN HUT. Disponível em:<http://en.wikipedia.org/wiki/Nissen_hut>. Acessado em 21 de Março de 2012.

NISSEN HUT. Disponível em: <<http://www.b24.net/wendling/site7.htm>>. Acessado em 21 de Março de 2012.

NISSEN HUT. Disponível em: <<http://www.langham.org.uk>>. Acessado em 21 de Março de 2012.

NISSEN HUT. Disponível em: <<http://www.news.domain.com.au>>. Acessado em 21 de Março de 2012.

NORTÃO NEWS. Disponível em <www.nortaonews.com.br>. Acessado em 12 de Setembro de 2012.

NORTH AMERICAN GROCERY MANUFACTURER'S ASSOCIATION (GMA), (IAPSO Emergency Relief Items, vol. 1, p 24). Disponível em <<http://sheltercentre.org/section-b-list-items-specification-and-stockpiles>>. Acessado em 15 de Agosto de 2012.

NUNES, A. R. S. **Construindo com a Natureza. Bambu:** Uma Alternativa de Ecodesenvolvimento. Dissertação de Mestrado, Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe, 2005.

NUNES, N. C. P. et. al. **O Uso de Placas de Tetrapak como uma alternativa Sustentável na Construção Civil.** Departamento de Arquitetura, Universidade de Taubaté, 2009.

O ESTADO (Jornal). Disponível em <www.estadao.com.br>. Acessado em 25 de Agosto de 2012.

O MUNDO DO CIMENTO. Concreto. Disponível em: <http://cimento.org/index.php?option=com_content&view=article&id=26&Itemid=2>. Acessado em 23 de Março de 2012.

OLIVEIRA, F. L.; HANAI, J. B. **Comportamento à compressão axial de pequenas paredes de blocos de concreto reforçadas com revestimentos de argamassa.** Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, vol 1, n 2, 2008. 158 p. ISSN 1083-4195.

OLIVER, P. **Dwellings:** The Vernacular House World Wide. Phaidon Press Limited. ISBN 978-0-7148-4793-1, 2003. 288 p.

OUR EVERYDAY EARTH. Disponível em www.oureverydayearth.com. Acessado em 25 de Agosto de 2012.

OWNER-DRIVEN HOUSING RECONSTRUCTION GUIDELINES INTERNATIONAL FEDERATION OF RED CROSS AND RED CRESCENT SOCIETIES. (IFRC, 2010). Disponível em: <www.ifrc.org>. Acessado em 15 de Julho de 2011.

PADOVAN, R. B. **O Bambu na Arquitetura: Design de Conexões Estruturais**. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação-Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP. Bauru, São Paulo, 2010. 184 p.

PADROES DE PALETES E CONTAINERES (IAPSO Emergency Relief Items, vol. 1, p 24). Disponível em: <<http://sheltercentre.org/section-b-list-items-specification-and-stockpiles>>. Acessado em 25 de Maio de 2012.

PALÁCIO DE CRISTAL. Disponível em: <<http://www.crystalpalacemuseum.org.uk/history.html>>. Acessado em 22 de Março de 2012.

PAULETTI, R. M. O. **História, Análise e Projeto de Estruturas Retesadas**. Tese de concurso para livre docência, Departamento de Estruturas e Fundações. USP, 2003.

PEREIRA, M. A. R. **Bambu de Corpo e Alma**. Bauru, SP, 2007, 239p.

PEZZEY, J. C. V. **Sustainability Constraints versus "Optimality" versus Intertemporal Concern, and Axioms versus Data Land Economics**. Vol. 73, No. 4, Defining Sustainability. Published by: The Board of Regents of the University of Wisconsin System, 1997. 448-466 p.

PHYLLOSTACHYS áurea. Disponível em: <<http://www.bambooweb.info/images/bamboo/Bamboo1aJul07.jpg>>. Acessado em 27 de Agosto de 2012.

PLACAS PRÉ-MOLDADAS COM TETRAPAK E SISTEMA MODULAR. Universidade de Taubaté. Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/RE_1114_1195_01.pdf>. Acessado em 15 de Agosto de 2012.

POLITECNICO DI MILANO. Tendas dos Beduínos. Disponível em <http://www.architetturatesse.polimi.it/membrane_scocche/percorsi/2_preindustriale/3edilizio_ts/1750dc_tenda_nera/1750dc_Tenda_nera.html>. Acessado em 12/09/2012.

R. BUCKMINSTER FULLER– Biography. Disponível em: <<http://users.design.ucla.edu/~djvmc/24/bucky/>>. Acessado em 22 de Março de 2012.

REVISTA Exame. Disponível em: <exame.abril.com.br>. Acessado em 06/04/2013.

REVISTA HABITARE/FINEP- out, 2009. Programa de Tecnologia de Habitação. Programa Habitare adapta tecnologia de painéis alveolares para habitação popular. Universidade de São Carlos. Disponível em: <http://www.habitare.org.br/ConteudoGet.aspx?CD_CONTEUDO=531>. Acessado em 03 de Janeiro de 2011.

REVISTA VEJA. Disponível em: <www.vejaabril.com.br>. Acessado em 11/02/2012.

REVISTA VITRUVIUS. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/09.102/97>>. Acessado em 13 de Março de 2012.

ROAF, S.; FUENTES, M., THOMAS, S. **Ecohouse: A casa ambientalmente sustentável**. 3^a. ed. Porto Alegre: Bookman, . ISBN 978-85-7780-361-3, 2001. (impressão 2009). 448 p.:il.; 28 cm.

ROGERS, R. **Cities for a small planet**. EUA, Westview Press,1998. 32 p.

ROSA, C. C. **Análise experimental das propriedades dinâmicas dos bambus das espécies guadua, dendrocalamus e aurea**. PUC-RJ, Departamento de Engenharia Civil, 2005.

ROSENLUND, H. **Climatic Design of Buildings using Passive Techniques**. Department of Housing Development and Management Lund University, Lund, Suécia, 2000.

ROTH, Leland M.; **Understanding Architecture: its Elements, History and Meaning**; Nova Iorque: HarperCollins Publishers, 1993.

RUDOLFSKY, B. **Architecture Without Architects**. Museum of Modern Art, New York. ISBN 978-0-8263-1004-0, 1964. (impressão 1987). 154 p.

SAFER HOMES, STRONGER COMMUNITIES: A Handbook for Reconstruction after Natural Disasters World Bank (2010). Disponível em: <www.housingconstruction.org>. Acessado em 01 de Agosto de 2011.

SALGADO, F. A. **Análise macro-mecânica do comportamento da terra como revestimento externo, com ou sem reforço de fibras vegetais**. Dissertação de Mestrado. Engenharia Civil. PUC-Rio, 2010. 126 p.

SANCHES, M. C. G. **Valoração do Serviço de Destinação Final dos Resíduos Gerados pela Indústria da Construção Civil do Município de Salvador-BA**. Dissertação de Mestrado, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, 2003.

SANTOS, M. D. **Construção com Terra Crua: Viabilidade Tecnológica e Energética em Habitações Sociais**. Dissertação de Mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 2002.

SCHMUTZLER, L. O. F. **Projeto Forro Longa Vida**. Labiomec-Laboratório de Engenharia Biomecânica, FEM-Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2001.

SEELE. Disponível em <www.seele.com>. Acessado em 01 de Abril de 2012.

SEMENTE DE MAMONA. USDA-United States Department of Agriculture. Disponível em: <<http://www.ars.usda.gov/is/AR/archive/jan01/plant0101.htm>>. Acessado em 27 de Janeiro de 2012.

SHARMA, B. **Seismic Performance of Bamboo Structures**. Tese de Doutorado, Faculty of Engineering, University of Pittsburgh, 2010. 201 p.

SHELTER BOX. Disponível em <www.shelterbox.org.br>. Acessado em 14 de Maio de 2012.

SHELTER CENTRE. Literature review for SHELTER AFTER DISASTER. Disponível em:<www.sheltercentre.org/library>. Acessado em 08 de Julho de 2011.

SHELTER. Lloyd Kahn (editor), H. Blume Ediciones, 1993. Disponível em: <<http://www.revistaau.com.br/arquitetura-urbanismo/161/imprime58415.asp>>. Acessado em 13 de Março de 2012.

SHELTER AFTER DISASTER - Guidelines For Assistance (UN Department of Humanitarian Affairs), Office of the United Nations Disaster Relief Co-Ordinator, NY, 1982. Disponível em:<<http://www.reliefweb.int>>. Acessado em 19 de Março de 2011.

SHELTER CENTRE, 2008, 2009. Transitional Shelter Guidelines. Brussels, Belgium. Disponível em: <www.sheltercentre.org/tsg/TSG>. Acessado em 19 de Março de 2011.

_____, 2010. Transitional Shelters Standards. Disponível em <www.sheltercentre.org/standards/shelter+standards>. Acessado em 26 de Março de 2011.

SHELTER PROJECTS – 2009. ISBN: 978-92-1-132285-9. 150 pp. Ed. UN-Habitat, Ed. The International Federal Red Cross and Red Crescent Societies. Genebra, 2010. Disponível em: <<http://www.unhabitat.org/pmss/listItemDetails.aspx?publicationID=3073>>. Acessado em 02 de Setembro de 2012.

SHELTER PROJECTS – 2010. Ed. UN-Habitat, Ed. The International Federal Red Cross and Red Crescent Societies. Genebra, 2012. Disponível em: <<http://www.sheltercasestudies.org>>. Acessado em 19 de Março de 2013.

SHIGERU BAN ARQUITETO. Disponível em <www.shigerubanarchitects.com/>; Acessado em 13 de Setembro de 2012.

SILVA, D. N. A. C.; CARVALHO, R. **Construções Ecológicas e Sustentáveis: Análise Comparativa de Custo entre Painéis em Bambu e Barro com Alvenaria de Bloco**. Universidade Federal da Bahia. UFBA, 2011.

SILVA, F. A., GHAVAMI, K., D'ALMEIDA, J. R. M. **Comportamento ao Impacto de Materiais Compósitos Cimentícios Reforçados com Polpa de Bambu**. Departamento de Engenharia Civil-PUC-Rio, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, PUC-Rio, 11 p.

SILVA, M.R.; SHIMBO, I. **A Dimensão Política da Sustentabilidade na Formulação de Políticas Públicas de Habitação.** Caso. Itararé-SP e Região. UFScar. 209.85.229.132, 2004..

SILVA, S. A, MARQUES, C., CARDOZO, N. **Estudo do Comportamento Reológico dos Adesivos Hot Melt PSA e sua Relação com a Composição e as Propriedades Adesivas.** VI Oktober Fórum – PPGEQ-Seminário do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química-Departamento de Engenharia Química, UFRS, 2007. 7 p.

SILVA, A. M., et. al. **Avaliação da Resistência à tração perpendicular e da densidade de chapas de fibras de média densidade confeccionadas com resina poliuretana monocomponente e bicomponente derivada de óleo de mamona.** Pesquisa e Tecnologia Minerva. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-UNESP, SP. 235 p.

SINAN, M. S.; ALTUN, M. C. **Design of a Post Disaster Temporary Shelter Unit.** Istanbul Technical University Faculty of Architecture, Istanbul, Turquia, 2009, 15 p.

SOARES, M. **Análise do Uso do Bambu como Painéis e como Reforço de Ligações entre Elementos Estruturais.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

SOTO-BLANCO B., et. al. 2002. Ricinus communis cake poisoning in a dog. Vet Hum Toxicol. Jun 44 (3):155-6. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/plantas/mamona/especial.htm>>. Acessado em 03 de Janeiro de 2012.

SUL MÓDULOS. Disponível em <sulmodulos.com>. Acessado em 11 de Agosto de 2012.

SUPERADOBE. Nader Khalili. Disponível em: <<http://calearth.org/building-designs/emergency-sandbag-shelter.html>>. Acessado em 19 de Abril de 2012.

SUTTON, P. **A Perspective on environmental sustainability.** Victorian Commissioner for Environmental Sustainability. [20?].

TEIXEIRA, A. A. **Painéis de Bambu para Habitações Econômicas: Avaliação do Desempenho de Painéis Revestidos com Argamassa.** Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília.UnB, 2006. 204p.

TENDAS. Kashmir, Paquistão, 2005. Disponível em: <<http://www.emergency-appeal.org/previous-emergencies/2005-kashmir-earthquake/6th-report-emergency-shelter>>. Acessado em 28 de Abril de 2012.

TENDAS. Disponível em: <<http://www.vmmontagens.com.br/index.php?page=Sobre%20Tendas>>. Acessado em 13 de Março de 2012.

TENDAS PRÉ-HISTÓRICAS. Disponível em:
<www.novas.blogspot.com.br/2008/04/habitacao-longo-dos-tempos.html>.
Acessado em 16 de Maio de 2012.

TENDAS PRÉ-HISTÓRICAS. Disponível em:
<<http://kraussofia.blogspot.com/2010/02/educacao-na-pre-historia.html>>.
Acessado em 8 de Março de 2012.

TENDAS PRÉ-HISTÓRICAS. Disponível em:
<<http://soundingthedepts.blogspot.com.br/p/figures.html>>. Acessado em 30 de
Março de 2012.

TENDAS PRETAS DOS BEDUÍNOS. Disponível em:
<<http://www.flickr.com/photos/yeowatzup/5079932783/>>. Acessado em 05 de
Maio de 2012.

TERRA. Disponível em :<www.terra.com.br>. Acessado em 14 de Maio de 2012.

TEXAS UNIVERSITY. Disponível em <<http://spirit.as.utexas.edu/>>. Acessado
em 15 de Fevereiro de 2011.

TEXTILE ARCHITECTURE. Viena. Disponível em:
<<http://www.seele.com/textile-architecture/innenhof-rathaus-wien-oesterreich-2.html>>. Acessado em 01 de Abril de 2012.

THE BIG IDEA. Disponível em <<http://www.thebigidea.co.nz>>; Acessado em 14
de Maio de 2012.

THE COLOSSEUM. Disponível em: <<http://www.the-colosseum.net/idx-en.htm>>. Acessado em 27 de Março de 2012.

THE UNHCR TOOL FOR PARTICIPATORY ASSESSMENT IN
OPERATIONS UNITED NATIONS HIGH COMMISSIONER FOR REFUGEES
(UNHCR, 2006). Disponível em: <www.unhcr.org>. Acessado em 15 de Julho de
2011.

THEODORIDOU, E. **Portable architecture in terms of architecture,
construction, developing industrialised technology and sustainability.**
University of Edinburgh, The School of Arts, Culture and Environment
Sustainable Design Methodologies Session, 2009-2010.

THE SPHERE PROJECT. **Humanitarian Charter and Minimum Standards in
Humanitarian Response.** ISBN 978-1-908176-00-4. *3rd. Edition.* The British
Library and US Library of Congress, 2011. 203 p.

TIPI. Disponível em: <<http://www.subarama.com/louderback/history.html>>.
Acessado em 02 de Agosto de 2011.

TRAMONTANO, M. C. **Novos modos de vida, Novos Espaços de Morar - Paris, São Paulo, Tóquio: Uma Reflexão sobre a Habitação Contemporânea.** Tese de Doutorado, São Paulo: FAUUSP, 1998.

_____. **Habitações, Metrôpoles e Modos de vida: Por uma Reflexão sobre a Habitação Contemporânea.** Texto premiado no 3º Prêmio Jovens Arquitetos: Primeiro Lugar na categoria Ensaio Crítico. São Paulo: Instituto dos Arquitetos do Brasil - SP / Secretaria de Estado da Cultura, 1998.

UEHARA, F. N. **Diretrizes para Desenvolvimento de Projeto para Ligações de Painéis de Fachada Horizontais de Concreto Pré-Moldado.** Dissertação de Mestrado em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos. UFScar, 2009. 100 p.

UN DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS – Division for Sustainable Development. Disponível em:

<http://www.un.org/esa/dsd/dsd_aofw_nsds/nsds_index.shtml>. Acessado em 11 de Novembro de 2009.

UN-HABITAT, 2011. **Cities and Climate Change: Policy Directions.** United Nations Settlements Programme. Global Report on Human Settlements. Abridged Edition, 2011. 62 p.

_____. **A Compendium of Information on Selected Low-Cost Building Materials.** 106 p.

UNITED NATIONS CENTER FOR HUMAN SETTLEMENTS (UNCHS) (HABITAT), 1985. **A Compendium of Information on Selected Low-Cost Building Materials,** 106 p.

UNIVERSIDADE DO VALE DOS SINOS-UNISINOS. **Cadernos IHU em formação: Sociedade Sustentável.** ISSN 1807-7862. Ano 2-Nº. 7- Ed. Prof. Dr. Inácio Neutzling. Unisinos, 2006. 108 p.

UROS. Disponível em: <<http://dornob.com/living-islands-the-worlds-longest-floating-mobile-homes/?ref=search>>. Acessado em 27 de Março de 2012.

USDA-United States Department of Agriculture. Disponível em <<http://www.ars.usda.gov>>. Acessado em 27 de Janeiro de 2012.

VALLE, C. D. **Compact Houses,** 2005. Universe Publishing. ISBN 978-0-7893-1349-2. Ed. Bacho Asensio, (impressão 2009). 415 p.

VASCONCELLOS, R.M. Bambúes em Brasil, una Visión Histórica y Perspectivas Futuras. Disponível em:

<www.bambubrasileiro.com/arquivos/Bamb%FAes%20en%20Brasil,%20una%20Visi%F3n%20Hist%F>. Acessado em 18 de Agosto de 2012.

VEIGA, D. F. L. A Restauração de um Chalé de Ferro em Belém e as Questões Práticas da Preservação da Arquitetura do Ferro. 2011. Disponível em:<http://www.forumpatrimonio.com.br/view_full.php?articleID=149&modo=1>. Acessado em 31 de Março de 2012.

VERSCHLEISSER, R. **Aplicação de estruturas de bambu no design de objetos**: como construir objetos leves, resistentes, ecológicos e de baixo custo. Tese de Doutorado – Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro, Departamento de Artes & Design, 2008.

VIEIRA, A. L., et. al. **Abrigos Emergenciais**. Centro Tecnológico. Curso de Arquitetura e Urbanismo. Univ. Federal de Santa Catarina. UFSC, 2009.

WATSON, D., CROSBIE, M., CALLENDER, J. The Reference of Architectural Fundaments, Time Saver Standards for Architectural Design Data. 7a. Edition, Disponível em:

<http://huntingtondesign.com/images/publications_pdf/TimeSaver_Standards.pdf>. Acessado em 27 de Março de 2012.

WHAT IS ENVIRONMENT SUSTAINABILITY. Disponível em:

<<http://www.ces.vic.gov.au>>. Acessado em 09 de Julho de 2009.

XAVIER, L. M. **Caracterização química, física e mecânica do *Phyllostachys aurea* e sua resistência ao ataque de térmitas, preservado com ácido bórico e tanino condensável**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Florestas – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2004.

ZERO EMISSIONS RESEARCH AND INITIATIVES. Disponível em <www.zeri.org>. Acessado em 18 de Agosto de 2012.

ZULU. Tradition and the voices of History. Victor Grauer. Disponível em:

<<http://soundingthedepths.blogspot.com.br/p/figures.html>>. Acessado em 27 de Março de 2012.

Anexos

Índice de propagação de chamas, conforme NBR 9442/1986

Classe	Índice de Propagação de Chama (Ip) médio
A	0 a 25
B	26 a 75
C	76 a 150
D	151 a 400
E	Superior a 400

O índice de propagação superficial de chama (Ip) é determinado pela seguinte equação: (sem unidade)

$$Ip = PC \times Q;$$

Onde:

Ip = Índice de propagação superficial de chama

Pc = Fator de Propagação da chama

Q = Fator de evolução do calor

Ensaio de Compressão

Foram adotadas as especificações técnicas da norma ASTM C364-99 *Standard Test Method for Edgewise Compressive Strength of Sandwich Constructions* para os ensaios de compressão que orienta quanto às dimensões dos corpos-de-prova, a temperatura, velocidade de aplicação da carga e aos procedimentos de ensaio.

Foram realizados ensaios de compressão em três etapas. Primeiro, foram ensaiados isoladamente os materiais que compõem o painel: o bambu e a placa reciclada. Conhecidas as propriedades destes materiais, a etapa seguinte foi ensaiar os corpos-de-prova do painel sanduíche de bambu já montado com os materiais compostos pela placa-bambu-adesivo, ambos com aplicação de esforços paralelos à superfície do painel sanduíche de bambu. E por último, o ensaio de compressão com aplicação de força perpendicular à superfície do painel sanduíche de bambu.

Ensaio do Núcleo- Bambu

O ensaio do bambu foi realizado com o objetivo de se conhecer a resistência da célula do núcleo do painel isoladamente, porém não se conhecia a procedência do bambu utilizado. Essa célula é parte da estrutura em colméia

projetada para aumentar a resistência do painel sanduíche de bambu. O ensaio foi realizado com o auxílio de um *clip-gage* posicionado na direção longitudinal, conforme Figura 124.



Figura 124: A) Ensaio de compressão do bambu com medida de deformação através de clip-gage colado no mesmo CP no sentido longitudinal; B) Corpo-de-prova após tensão de ruptura máxima

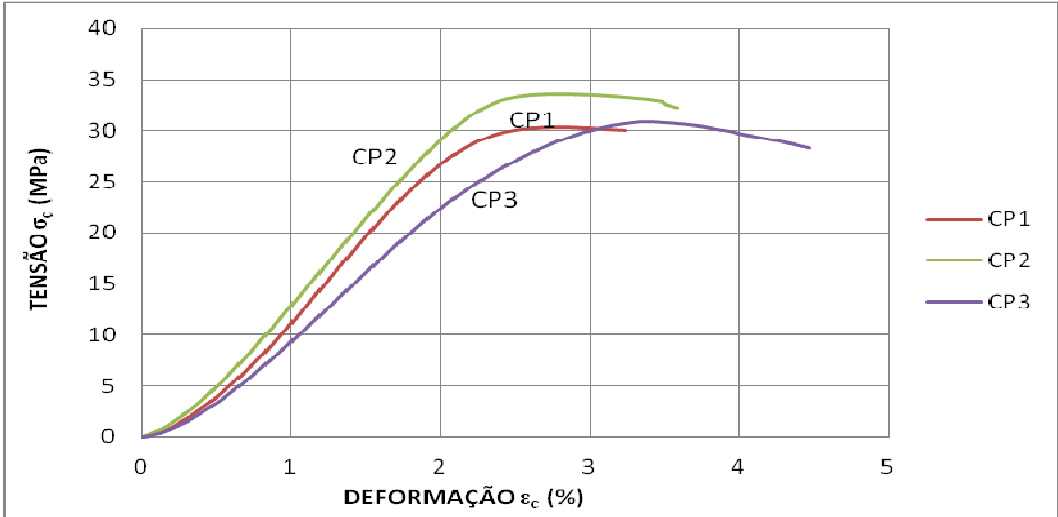


Figura 125: Tensão de compressão (σ_c) vs. deformação de uma célula de carga do núcleo de bambu (ϵ_c).

Tabela 24- Resistência à compressão

CP	mm	MPa	E (MPa)
1	44,7	31,1147	1632,1
2	43,685	33,9014	1667,1
3	43,175	31,00332	1292,5
Média	43,85	32,01	1530,57
Desvio Padrão	0,78	1,64	206,91

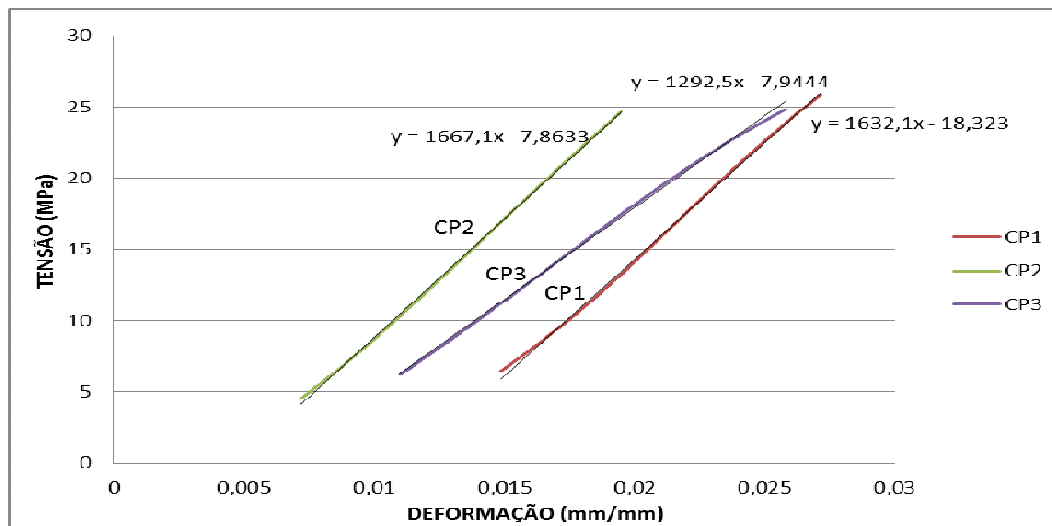


Figura 126: Tensão vs. deformação

Módulo de elasticidade de uma célula do núcleo de bambu: **E = 1,53 GPa**

Resultados no núcleo – bambu

Um estudo foi também feito comparando-se as massas específicas e os módulos de elasticidade do núcleo de bambu, do tipo *Phyllostachys aurea*, com outros materiais poliméricos, colméias e corrugados, convencionalmente utilizados como núcleos de painéis sanduíche (Figura 127). A Tabela 25 compara as propriedades mecânicas destes vários tipos de núcleo, observando-se que a razão entre a tensão limite à compressão e o módulo de elasticidade do bambu é 0,02, semelhante aos demais materiais normalmente utilizados como núcleos de painéis, com exceção da balsa. O bambu é mais denso, possibilitando que suporte maiores tensões com menos deformações.

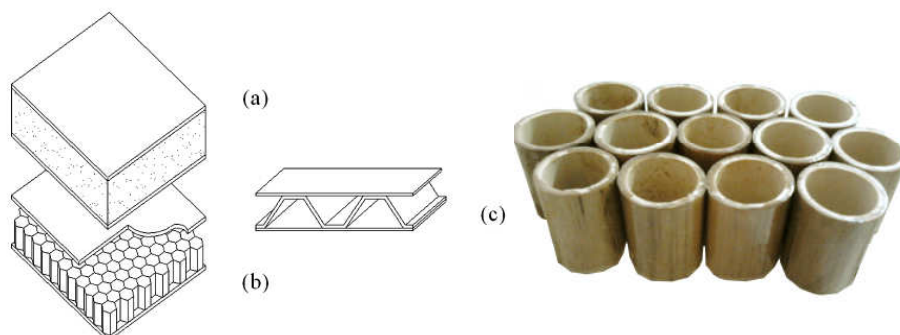


Figura 127: À esquerda, painéis sanduíche com recheio polimérico (a), colméia (b), e corrugado (c). À direita, detalhe da colméia de bambu para recheio de painel sanduíche

Tabela 25- Comparação com recheios de painéis sanduíche

Propriedades	PVC	Fenólicos	Poliuretano	Poliestireno (isopor)	Balsa	Bambu
Densidade kg/m ³	65	55	70	40	92	808 ^a
Módulo de elasticidade MPa	55	7	19	11	2450	1530
Tensão limite à compressão MPa	1	0,17	0,5	0,27	6,3	32,01
Tensão limite à compressão / Módulo de elasticidade (MPa)	0,018	0,024	0,026	0,024	0,002	0,020

Fonte: ALLEN (1969) apud GAGLIARDO & MASCIA (2010), ^a ROSA (2005)

Ensaio da face- placa reciclada

A seguir foi ensaiada a placa reciclada isoladamente para se conhecer suas propriedades de resistência à compressão, como mostra a Figura 128.

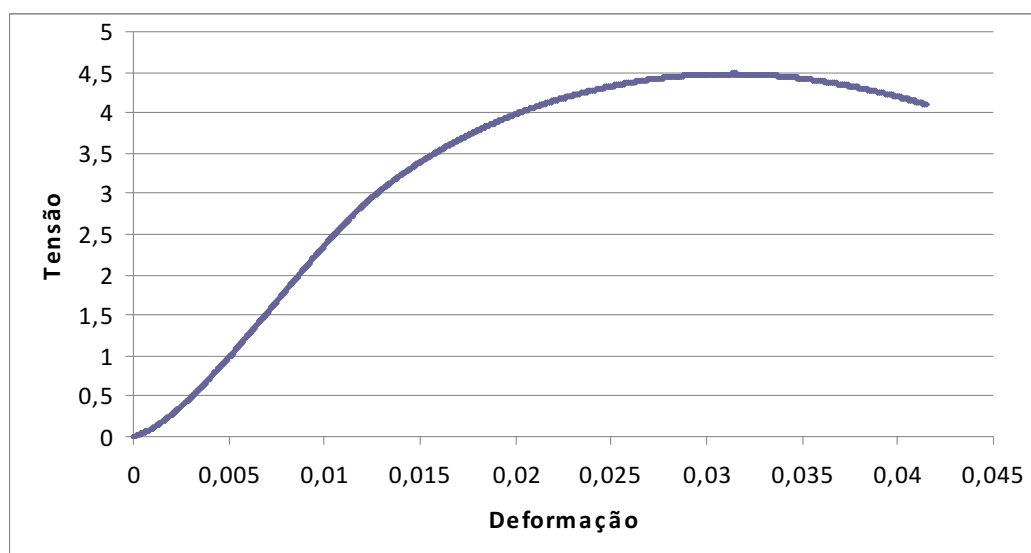


Figura 128: Tensão vs. deformação da placa tetrapak isolada

Tabela 26- Propriedades da placa reciclada

Propriedades	Placa reciclada
Densidade kg/m ³	1050
Módulo de Elasticidade MPa	270
Tensão Limite à compressão MPa	4,48

Conhecidas as propriedades dos materiais utilizados seguiu-se com os ensaios do painel sanduíche de bambu composto pelas placas recicladas com o núcleo alveolar de bambu unidos pela resina poliuretana vegetal à base de óleo de mamona.

Resultados da face – placa reciclada

A Tabela 27 mostra as propriedades dos materiais normalmente utilizados em faces de painéis sanduíche e compara com as propriedades da placa reciclada utilizada no desenvolvimento do painel sanduíche de bambu deste trabalho.

Tabela 27- Propriedades dos Materiais

Material	a) GPa	b) MPa	c) kg/m3	Aspectos Gerais
Alumínio 5052-H34	70	165	2710	Custo médio, resistente a intempéries
Aço carbono	200	350	7680	Baixo custo, pesado
Inox	190	250	7680	Alto custo, resistente à corrosão
Fita grafite/epóxi TXX145-F155	120	1300	1690	Alto custo, leve
Vidro/poliéster	6,5	100	1400	Custo bastante baixo
Compensado/pinho	12	20	600	Baixo custo, inflamável
Madeira endurecida e temperada para 1000 kg/m3	4,5	25	1000	Baixo custo, inflamável
Placas recicladas de tetrapak	0,27	4,48	1050	Baixo custo, resistente a intempéries, leve, resistente à corrosão, resistente a chamas

a) Módulo de elasticidade; b) Tensão de escoamento ou limite de ruptura; c) Densidade
Fonte: MENDONÇA (2005) apud GAGLIARDO, MASCIA, LAMBERTS (2010)

Ensaio do painel sanduíche de bambu

Foram realizados ensaios de compressão, onde a deformação do corpo-de-prova na direção longitudinal à força aplicada foi medida com auxílio do travessão da máquina no material para se conhecer as propriedades do painel sanduíche de bambu.

Geometria dos corpos-de-prova

A geometria dos corpos-de-prova foi definida conforme dimensões especificadas pela norma ASTM C364-99. Os corpos-de-prova devem ser retangulares, com largura superior a 50 mm, pelo menos duas vezes a espessura do painel e maior que quatro células da estrutura alveolar. O comprimento (dimensão paralela à direção da força aplicada) deve ser menor que oito vezes a espessura total. Essa simplificação representa o modelo proporcionalmente e possibilita a realização dos ensaios nas máquinas disponíveis nos laboratórios da universidade, padronizadas e amplamente utilizadas em outros trabalhos. Para os ensaios de compressão axial do painel sanduíche de bambu foram preparados seis corpos-de-prova com dimensões e resultados como mostra a Tabela 28.

Tabela 28- Dados dos corpos-de-prova de compressão

CP	Espessura	Largura	Comp	Núcleo	
nº	mm	mm	mm	mm	Ncélulas
1	61,72	124,09	100,06	30	12
2	61,80	126,17	100,36	30	12
3	60,57	124,37	100,34	30	12
4	76,32	181,87	99,47	45	8
5	73,65	182,40	100,21	45	8
6	78,78	218,37	100,18	45	8
Média	68,81	159,55	100,10	37,50	



Figura 129: Ensaio de compressão do painel sanduíche de bambu

Os corpos-de-prova foram preparados à temperatura ambiente (aproximadamente 28° C e 70% de umidade relativa do ar) com tempo de cura de 20 dias para o adesivo de óleo de mamona. No dia dos ensaios os corpos-de-prova foram colocados na máquina INSTRON serial N1194, com limite superior da faixa nominal da escala 1000 Kgf (9807 daN) equipada com células de carga

marca INSTRON números 070 e 194, no Laboratório do Instituto Tecnológico (ITUC), da PUC-RJ, à velocidade constante de 1,0 mm/min. e temperatura de 23° C. Os testes foram encerrados quando houve redução da carga por falhas ocorridas no material. Somente o CP nº 6 foi testado até a ocorrência da ruptura da placa e sua aderência ao núcleo por falha do adesivo, e também a ruptura de duas células do núcleo (bambu).

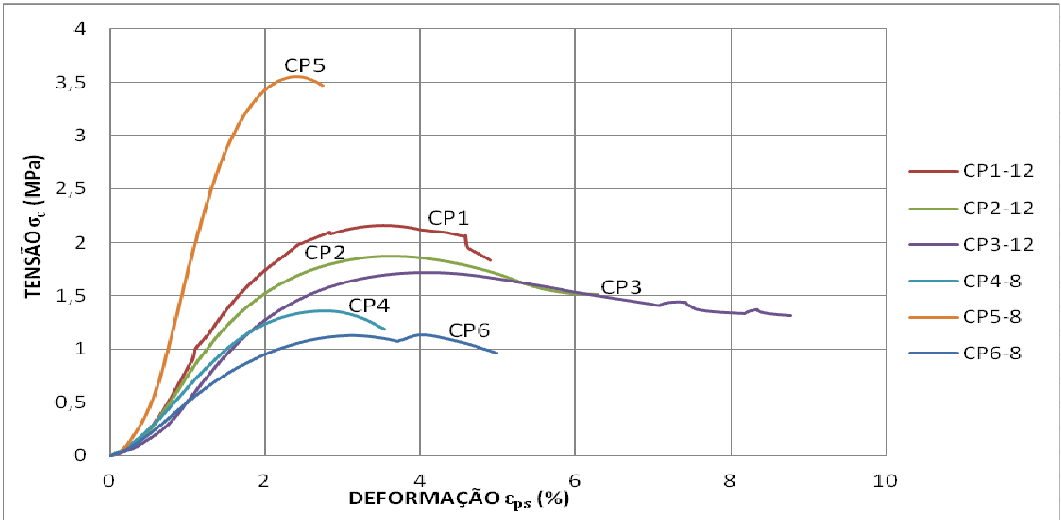


Figura 130: Tensão de compressão (σ_c) vs. deformação dos corpos de prova de painel sanduíche de bambu (ϵ_{ps})

A Tabela 29 mostra as principais características dos corpos-de-prova, e os resultados dos ensaios de compressão, carga máxima, deformação, extensão, e resistência dos painéis sanduíche.

Tabela 29- Dados dos corpos-de-prova de compressão e resultados dos ensaios							
CP	Núcleo		Tensão	E	Deformação	Carga	Observações
nº	mm	Ncél	MPa	MPa	mm/mm	N	
1	30	12	2,1933	1079,4	0,04161	20171,836	A placa flambou e apareceu pequena falha no adesivo
2	30	12	1,91661	947,42	0,04283	17760,72	Apresentou comportamento similar
3	30	12	1,75902	834,8	0,0475	17081,885	Apresentou comportamento similar
4	45	8	1,48665	752,8	0,03676	21158,600	A placa flambou, apareceram grandes rachaduras de desfolhamento horizontal e vertical
5	45	8	3,56586	2659,2	0,02474	26659,2503	Pequena falha no adesivo
6	45	8	1,3003	551,94	0,08232	30170,333	A placa flambou, grandes rachaduras de desfolhamento horizontal e vertical,adesivo rompeu
Média	37,50		2,037	1137,59	0,04596	22167,02	
Desvio padrão			0,812	766,49	0,019	5186,61	

Resultados do painel sanduíche de bambu

A capacidade da parede de suportar ações mecânicas das cargas da estrutura, vento, deformações, choques, etc., é determinada pela resistência. Na função de transmitir cargas, a propriedade mais importante é a resistência à compressão, (Marie, 2012).

A resistência média à compressão dos painéis, ou tensão de ruptura, dos painéis com a carga aplicada perpendicularmente aos furos do bambu foi determinada em 2,04 MPa e o módulo de elasticidade médio determinado em 1137,59 MPa. Os valores obtidos, quando comparados à resistência mecânica da alvenaria de vedação e paredes divisórias, foram considerados satisfatórios, pois de acordo com a norma NBR 15270-1/2005 a resistência à compressão de blocos e alvenaria de vedação deve ser no mínimo igual a 1,5 MPa (Figura 131). Todavia, em relação às exigências mínimas para alvenaria estrutural, o comportamento do painel não atendeu aos critérios estabelecidos pela norma técnica.

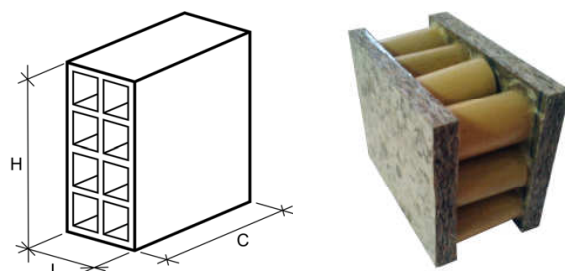


Figura 131: A) bloco com furo na horizontal (fonte: NBR 15270-1 de 2005); B) painel sanduíche de bambu

Para construção de residências unifamiliares de um e dois pavimentos, casas e sobrados, a Caixa Econômica Federal estabelece para financiamento pelo Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat – PBQP-H-2002, a resistência mínima à compressão de 2,5 MPa para blocos cerâmicos ou de concreto quando usados como alvenaria estrutural.

Pela norma NBR 15270-1: 2005-Parte 1- Resistência à Compressão para Blocos e Alvenaria de Vedação especifica o valor mínimo de $\geq 3,0$ MPa para blocos usados com furos na vertical como mostra a Figura 132. De acordo com a norma NBR 6136/2008 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria, a resistência à compressão mínima exigida é 4,5 MPa.

Segundo Nascimento (2002 apud Lima, 2012) as alvenarias resistentes, destinadas a absorver as cargas provenientes de lajes e sobrecarga também devem ter espessura mínima de 14,0 cm, como indicam as normas NBR 10837 e NBR 8798.

Na preparação dos ensaios não foi possível colocar os suportes laterais adjacentes às faces do sanduíche para prevenir a possibilidade de flambagem prematura das placas. Acredita-se que com a introdução destes, a resistência do painel poderia resultar maior. Para utilização do painel sanduíche de bambu em substituição de alvenaria estrutural seria necessário, portanto, realizar ensaios com os painéis já montados, com os montantes colocados nos fechamentos laterais. Eventualmente a espessura do painel também poderia ser aumentada para se obter maiores ganhos de resistência.

Ensaio do painel sanduíche de bambu – furos na vertical

Esse ensaio foi realizado com a carga aplicada na direção perpendicular ao painel sanduíche de bambu, como mostra a Figura 132.



Figura 132: Aplicação da carga no sentido perpendicular do painel sanduíche de bambu

Geometria do modelo

Os corpos-de-prova (CP) tiveram suas dimensões quadradas. Essa simplificação representa o modelo proporcionalmente e possibilita a realização dos ensaios nas máquinas disponíveis nos laboratórios da universidade, padronizadas e amplamente utilizadas em outros trabalhos.



Figura 133: Corpos-de-prova antes e depois do ensaio

Para este ensaio foram preparados cinco corpos-de-prova com dimensões e resultados como mostra a Tabela 30.

Tabela 30- Geometria dos corpos-de-prova

CP	Núcleo		Painel		
	Espessura (mm)	Diâmetro (mm)	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)
X1	5,47	45,19	64,31	79,13	78,88
X2	7,94	47,94	63,51	79,15	79,31
X3	9,52	45,78	69,65	79,50	78,89
X4	8,62	46,70	65,39	79,31	79,52
X5	7,52	46,72	63,67	78,61	78,76
Média	7,81	46,46	65,30	79,14	79,07
D.Padrão	1,51	1,05	2,54	0,33	0,33

Os valores se referem às médias, calculadas a partir de dois pontos diferentes das espessuras dos painéis e dos diâmetros dos corpos-de-prova. O objetivo deste ensaio foi conhecer a resistência do painel sanduíche de bambu com aplicação da força no sentido perpendicular para sua possível utilização como laje de piso. A resistência média dos corpos-de-prova com a aplicação da carga no sentido perpendicular às faces do painel sanduíche de bambu foi de 43,116 MPa, como mostra a Figura 134.

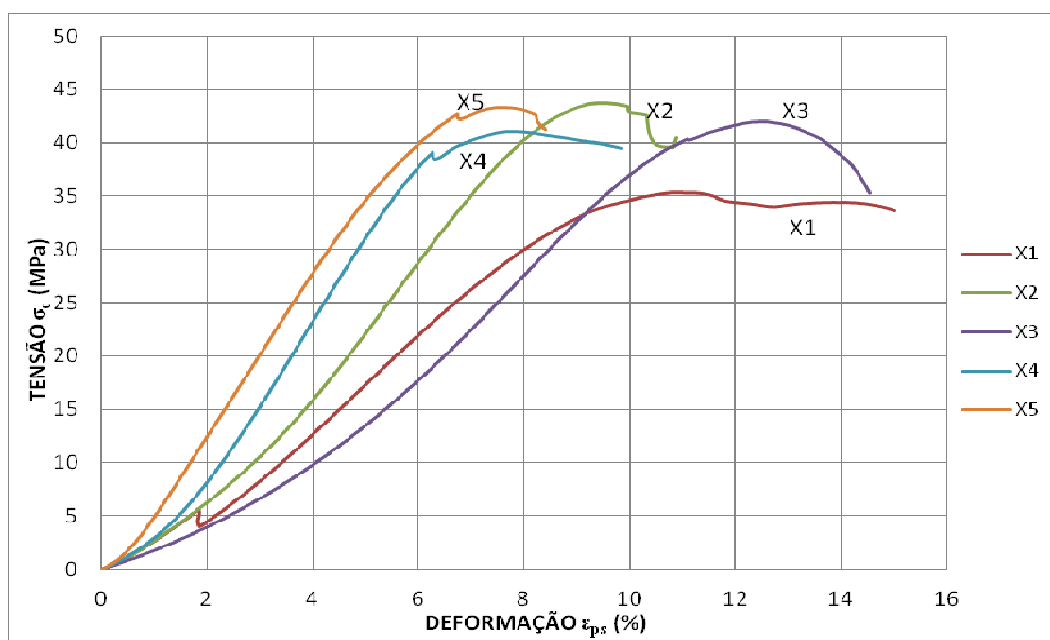


Figura 134: Tensão de compressão (σ_c) vs. deformação do painel sanduíche de bambu (ϵ_{ps}).vs.

Os corpos-de-prova foram preparados à temperatura ambiente (aproximadamente 28° C e 70% de umidade relativa do ar) assim como a cura

do adesivo, por mais de 40 dias. No dia dos ensaios os corpos-de-prova foram colocados na máquina INSTRON serial N1194 no Laboratório do Instituto Tecnológico (ITUC), da PUC-RJ, à velocidade constante de 0,5 mm/min. e temperatura de 23° C.

Tabela 31- Resultados do ensaio

CP	Espessura do Pannel	Extensão	Carga	Deformação	Tensão	E	Carga
nº	mm	mm	kgf	mm/mm	MPa	MPa	N
X1	64,310	7,58954	2497,19516	0,1474	37,7965	449,81	24489,9929
X2	63,505	6,59005	2608,91604	0,11164	44,3489	626,71	25585,6396
X3	69,95	12,17779	3213,49475	0,20313	47,0713	455,82	31514,743
X4	65,390	6,13256	2768,41513	0,10175	42,2894	774,4	27149,8472
X5	63,670	6,38583	2863,18663	0,10295	44,0741	755,28	28079,2713
Média		8,071	2790,2415	0,1333	43,116	612,40	27363,899
Desvio Padrão			275,543	0,043	3,43	156,38	2702,25

Resultados do painel sanduíche de bambu – furos na vertical

Nos ensaios de compressão do painel com o núcleo de bambu na vertical, como mostra a Figura 135, o painel sanduíche de bambu obteve a resistência média de 43,12 MPa, neste caso, atenderia às especificações das normas para alvenaria de vedação e estrutural.

O Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat – PBQP-H-2002 da Caixa Econômica Federal estabelece para lajes de piso a espessura mínima é 9 cm podendo chegar a 16 cm dependendo da tecnologia empregada, o painel sanduíche de bambu ensaiado possui espessura média de 6,5 cm. Para se utilizar o painel sanduíche de bambu como piso, outros ensaios devem ser realizados para determinar a resistência com outras espessuras, determinar o vão máximo entre apoios e dimensionar as vigotas estruturais.

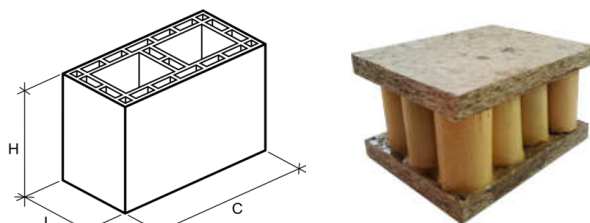


Figura 135: A) bloco com furo na vertical (fonte: NBR 15270-1 de 2005); B) painel sanduíche de bambu

Como já observado em outros trabalhos, houve um decréscimo substancial da resistência à compressão simples do painel sanduíche de bambu em relação aos componentes isoladamente. Constatado também por diversos pesquisadores que realizaram ensaios com paredinhas segundo Masseto e Sabbatini (1998).

A Tabela 32 compara o desempenho dos materiais isoladamente com a resistência à compressão simples do painel sanduíche de bambu.

Tabela 32- Comparação dos materiais com o painel sanduíche de bambu montado

CP	MPa	E (GPa)
Bambu	32,01	1,53
Placa	4,48	0,27
Painel	2,04	1,14
Com furos na vertical	43,12	0,61

Ensaio de cisalhamento – adesivo

Os corpos-de-prova (ESB-Ensaio Sanduíche de Bambu) foram preparados a temperatura ambiente (aproximadamente 28° C e 70% de umidade relativa do ar) assim como a cura do adesivo, por mais de 20 dias. Os ensaios foram realizados na máquina INSTRON serial N1194 no Laboratório do Instituto Tecnológico (ITUC), da PUC-RJ.

Para testar a resistência do adesivo e conhecer sua aderência entre o bambu e placa, foram realizados ensaios de cisalhamento por carregamento. O objetivo deste ensaio foi conhecer a resistência do adesivo e sua capacidade de aderência entre as faces do painel e o núcleo de bambu. Para isso, foram preparados 30 corpos-de-prova, divididos em grupos de cinco, e o travessão da máquina foi posicionado somente no núcleo, com um adaptador semicircular abraçando a célula de bambu, conforme mostram as figuras da sequência.


ESB 1	Caracterização
	<ul style="list-style-type: none"> 1 peça de bambu com diâmetro médio de 45,78 e altura de 48mm; 2 placas de material reciclado com 8 mm de espessura; 75 mm de largura e 75 mm de comprimento; Velocidade de ensaio 1,0 mm/min; Resistência à compressão (média)-2,92 MPa.

Figura 136: Corpo-de-prova do grupo 1


ESB 2	Caracterização
	<ul style="list-style-type: none">▪ 2 peças de bambu com diâmetro médio de 43,16 mm; espessura de 48 mm e altura média de 96,37 mm;▪ 2 placas de material reciclado com 10 mm de espessura; 64,80 mm de largura e 120 mm de comprimento;▪ Velocidade de ensaio 0,5 mm/min.

Figura 137: Corpo-de-prova do grupo 2

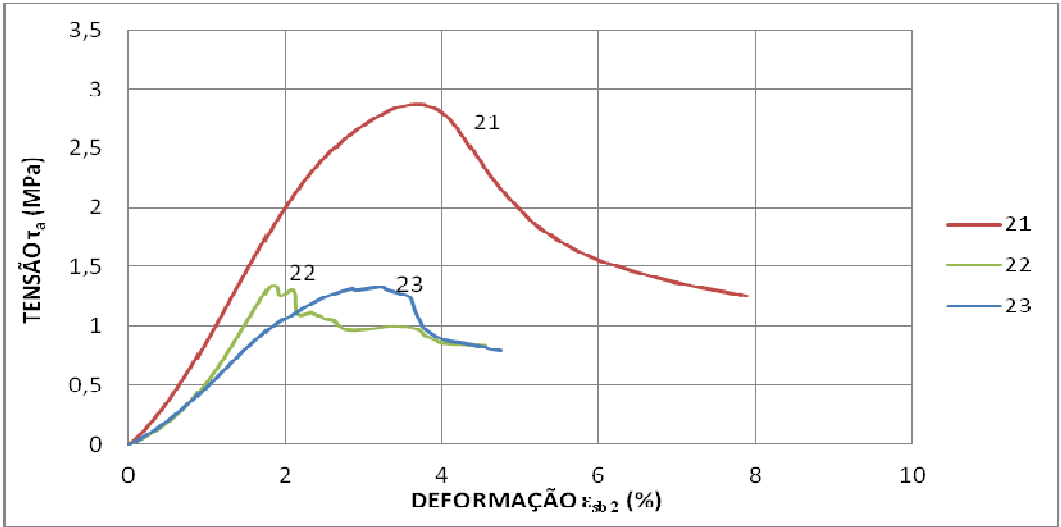


Figura 138: Tensão de cisalhamento do adesivo (τ_a) vs. deformação dos corpos de prova ESB2 ($\epsilon_{sb,2}$).


ESB 3	Caracterização
	<ul style="list-style-type: none">▪ 3 peças de bambu com diâmetro médio de 46,53 mm e espessura de 48mm e altura média de 142,91 mm;▪ 2 placas de material reciclado com 10 mm de espessura; 60 mm de largura e 163 mm de comprimento;▪ Velocidade de ensaio 1,0 mm/min.

Figura 139: Corpo-de-prova do grupo 3

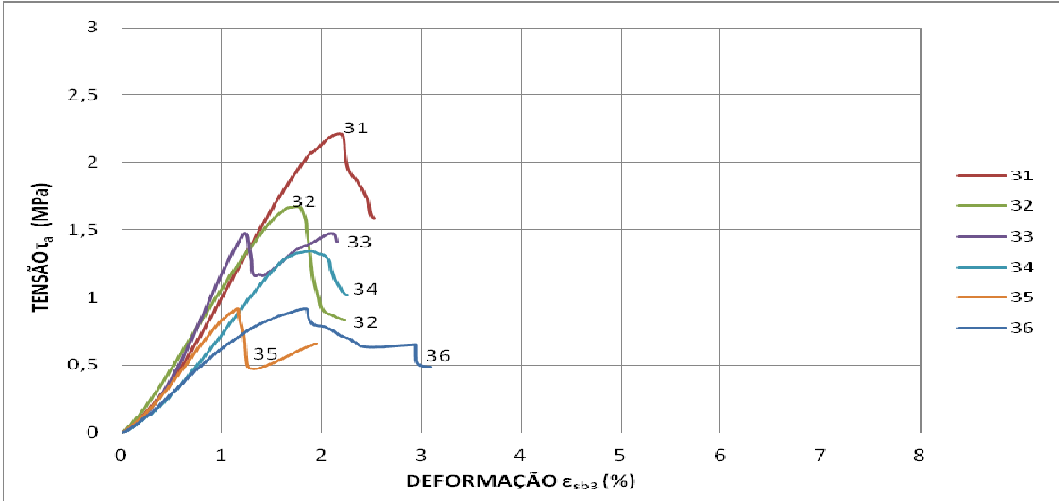


Figura 140: Tensão de cisalhamento do adesivo (τ_a) vs. deformação dos corpos de prova ESB3 (ϵ_{sb3}).


ESB 4	Caracterização
	<ul style="list-style-type: none">4 peças de bambu com diâmetro médio de 48,03mm e espessura de 48mm e altura média de 197,17 mm;2 placas de material reciclado com 10 mm de espessura;60 mm de largura e 245 mm de comprimento;Velocidade de ensaio 0,5 mm/min.

Figura 141: Corpo-de-prova do grupo 4

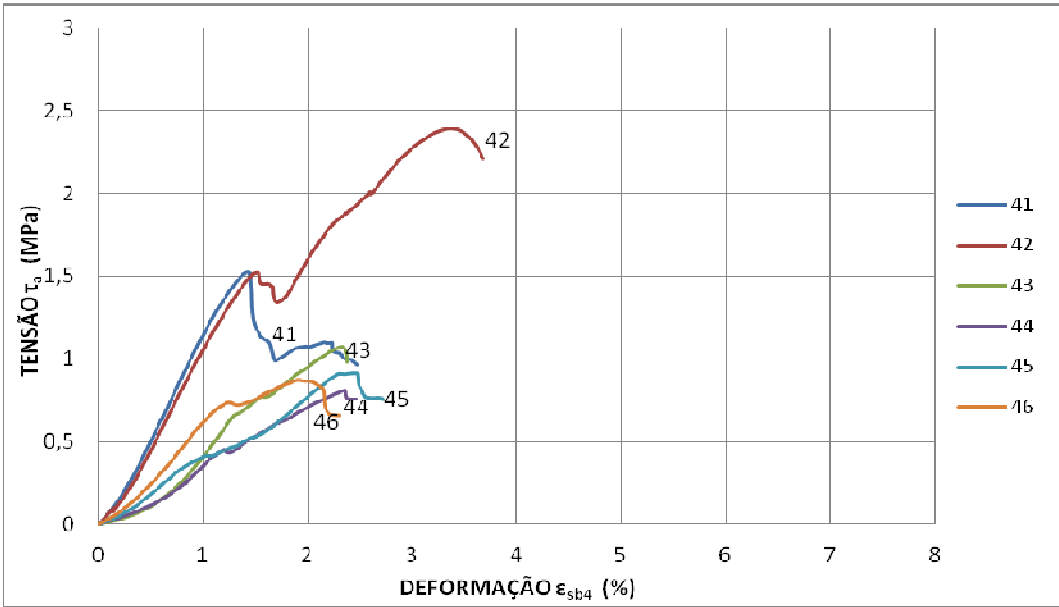


Figura 142: Tensão de cisalhamento do adesivo (τ_a) vs. deformação dos corpos de prova ESB4 (ϵ_{sb4}).

ESB 5



Caracterização

- 5 peças de bambu com diâmetro médio de 41,43 mm e espessura de 48 mm e altura média de 212,17 mm;
- 2 placas de material reciclado com 10 mm de espessura;
- 60 mm de largura e 248,50 mm de comprimento;
- Velocidade de ensaio 0,5 mm/min.

Figura 143: Corpo-de-prova do grupo 5

Tabela 33- Módulo de elasticidade

CP	E (MPa)	CP	E (MPa)	CP	E (MPa)	CP	E (MPa)
21	112,75	31	126,4	41	126,44	51	119,75
22	78,944	32	113,68	42	114,31	52	99,438
23	59,471	33	135,33	43	78,508	53	88,621
		34	87,8	44	53,564	54	94,244
		35	86,832	45	51,489	55	97,382
		36	67,639	46	72,872	56	94,576
Média	83,722	Média	102,947	Média	82,864	Média	99,002
Desvio Padrão	26,96	Desvio Padrão	26,27	Desvio Padrão	31,14	Desvio Padrão	10,80
Média Geral : 96,221 MPa							
Desvio Padrão: 24,51 MPa							

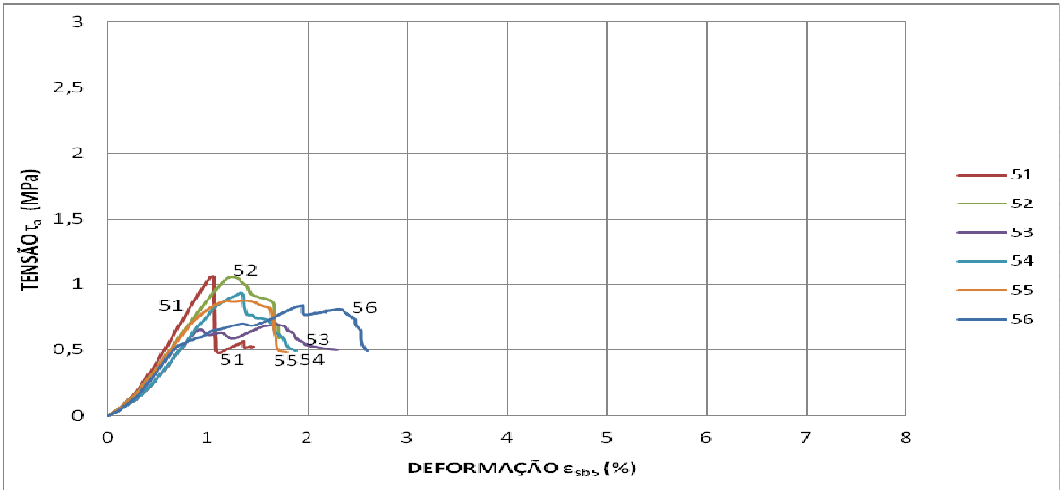


Figura 144: Tensão de cisalhamento do adesivo (τa) vs. deformação dos corpos de prova ESB5 (εsb5).

Resultados do cisalhamento

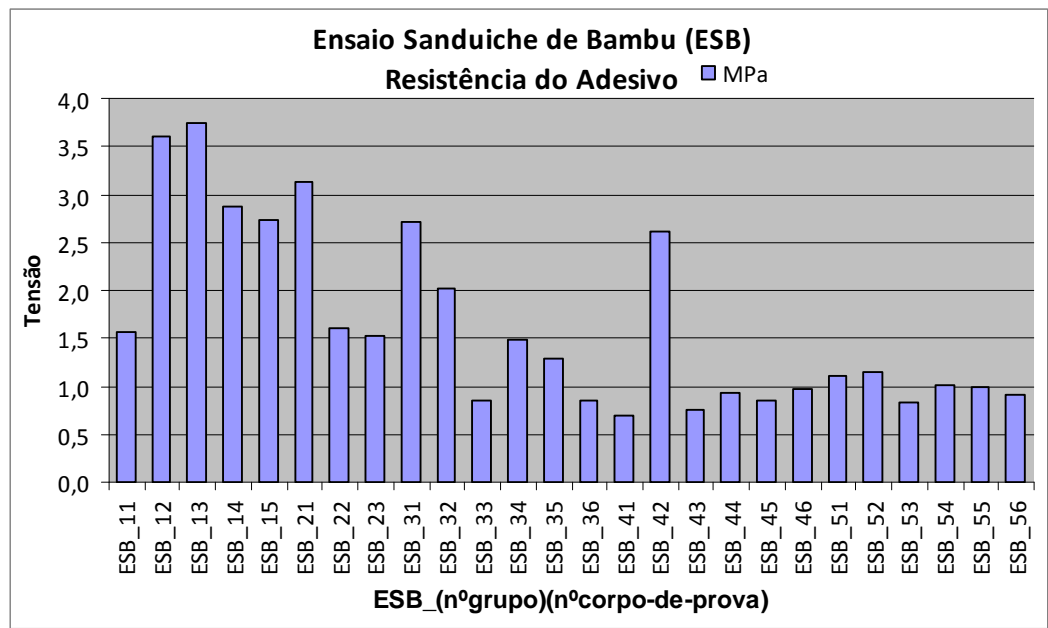


Figura 145: Resistência do adesivo em cada corpo-de-prova (ESB) testado

A Figura 145 mostra a resistência alcançada por cada corpo-de-prova isoladamente e a Figura 146 mostra a resistência de cada grupo.

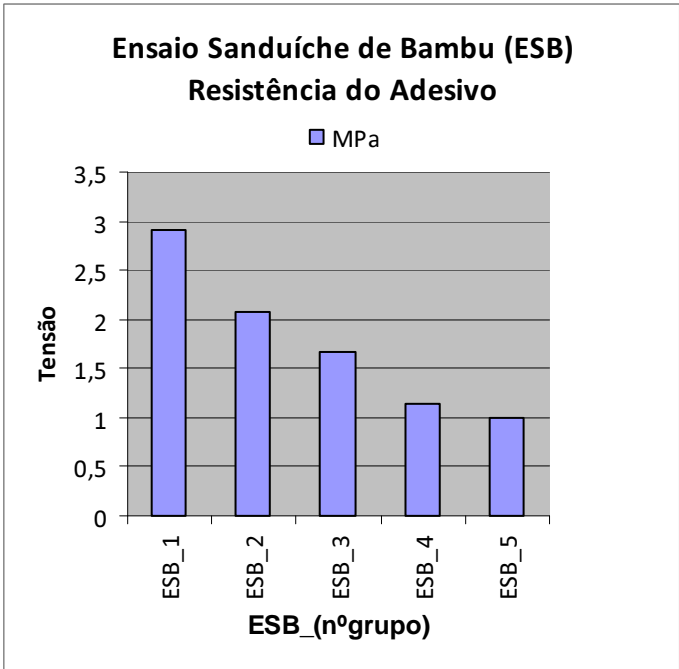


Figura 146: Média das resistências do adesivo alcançadas por grupo

O menor valor encontrado foi 0,68691 MPa para o corpo-de-prova com quatro alvéolos de bambu e o maior valor 3,741 MPa para o corpo-de-prova com

apenas um alvéolo de bambu. Os menores valores ocorreram quando houve falha nas placas dos corpos-de-prova e os maiores quando a falha ocorreu por rachadura no bambu. Analisando o gráfico e as falhas nos corpos-de-prova, podemos concluir que os menores valores de resistência devem-se ao desfolhamento das faces, visto que as placas são constituídas por material reciclado prensado. A altura da placa e a distância entre o apoio e o bambu também tiveram influência nos resultados. Comparando com outros materiais comuns em núcleos de painéis sanduíche, como mostra a Tabela 34, o adesivo escolhido teve sua eficiência comprovada.

Tabela 34- Comparação do núcleo de bambu com outros materiais

Propriedades	PVC	Fenólicos	Poliuretano	Poliestireno (isopor)	Bambu
Tensão Limite Cisalhante (MPa)	1,15	0,14	0,6	0,3	0,68 a 3,74

Fonte: ALLEN (1969) apud GAGLIARDO E MASCIA (2010)