



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROARQ – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura

**ARQUITETURA E AGRICULTURA: O POTENCIAL
SIMBIÓTICO ENTRE SISTEMAS CONSTRUTIVOS E
SISTEMAS AGROFLORESTAIS.**

Luiz Vicente Ferreira Fasciotti

Rio de Janeiro
2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROARQ – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura

**ARQUITETURA E AGRICULTURA: O POTENCIAL
SIMBIÓTICO ENTRE SISTEMAS CONSTRUTIVOS E
SISTEMAS AGROFLORESTAIS.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio de Janeiro para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura.

.

Orientação: DsC. Marcos Martinez Silvano

Rio de Janeiro
Janeiro, 2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROARQ – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura

**ARQUITETURA E AGRICULTURA: O POTENCIAL SIMBIÓTICO ENTRE
SISTEMAS CONSTRUTIVOS E SISTEMAS AGROFLORESTAIS.**

Luiz Vicente Ferreira Fasciotti

Orientador: Marcos Martinez Silvoso

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Arquitetura, Linha de pesquisa: Arquitetura, Projeto e Sustentabilidade.

Aprovado por:

Prof. Marcos Martinez Silvoso (PROARQ-UFRJ)

Prof. Fernando Cesar Negrini Minto (ESDI-UERJ)

Prof². Sylvia Meimaridou Rola (PROARQ-UFRJ)

Rio de Janeiro

Janeiro de 2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROARQ – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura



“Tá vendo aquela construção lá no fundo? É a escola da nossa comunidade ribeirinha. A gente construiu toda a obra com as madeiras que plantamos e que colhemos o açaí, fruto que dá nosso sustento junto com a pescaria. Na época da eleição um político que nunca tinha vindo aqui, prometeu que iria reformar nossa escola, que já tinha ficado pequena para o número de crianças da nossa comunidade. 6 meses antes da gente votar chegou a primeira equipe de obra, para nossa surpresa eles demoliram tudo o que havia sido construído por nós, disseram que iriam construir novamente com tijolo e concreto, ficamos animados, o sonho de muita gente aqui é ter uma casa de tijolo igual as casas da cidade grande. A obra fez nossas crianças perderem muitos meses de aula, mas pela modernidade todos concordamos que valia a pena. O problema maior apareceu depois da eleição, depois de tudo demolido e somente metade da escola pronta o pessoal da obra foi embora para nunca mais voltar. Suplicamos as autoridades para que a obra retornasse, mas sempre vinha uma desculpa esfarrapada. No final passaram-se meses sem aulas e nos sobrou metade de uma escola que a gente não podia nem continuar a obra por conta própria, ninguém daqui sabe construir com tijolo, a gente constrói com madeira desde nossos avós. Por fim, tivemos que derrubar o que a prefeitura construiu e refazer do nosso jeito, com a madeira que a gente sabe trabalhar. Hoje a escola funciona novamente e se der algum defeito a gente mesmo conserta, depois do voto ninguém mais liga pra gente, somos nós por nós mesmos.”

Relato de um morador pertencente a
comunidade ribeirinha do rio Juma,
Amazônia.

Fonte: Autor



RESUMO:

ARQUITETURA E AGRICULTURA: O POTENCIAL SIMBIÓTICO ENTRE SISTEMAS CONSTRUTIVOS E SISTEMAS AGROFLORESTAIS.

Luiz Vicente Ferreira Fasciotti

Orientador: DsC. Marcos Martinez Silvano

Esta dissertação analisa a integração entre sistemas construtivos e agroflorestais, com foco nos materiais provenientes de Sistemas Agroflorestais Sucessionais (SAFs), buscando compreender como a sinergia entre arquitetura e agricultura pode oferecer soluções habitacionais sustentáveis e acessíveis para pequenos produtores rurais. Por meio de uma abordagem teórica e experimental, foram investigados materiais como bambu, eucalipto, fibras vegetais e biomassa, destacando suas potencialidades técnicas, limitações práticas e aplicabilidade no contexto rural.

O trabalho apresenta um estudo de caso realizado em Visconde de Mauá, que serviu como base para experimentações práticas. Os resultados demonstraram que materiais como bambu e terra se apresentam como alternativas com grande potencial de replicação para autoconstruções devido à sua facilidade de manejo e custo reduzido. Por outro lado, o uso do eucalipto revelou-se desafiador, exigindo ferramentas específicas e trabalho colaborativo, mas com potencial para uso em estruturas mais robustas. A pesquisa também explorou através de revisão bibliográfica a utilização de biomassa excedente de SAFs maduros para geração de energia elétrica, destacando uma abordagem integrada que conecta habitação e sustentabilidade energética.

O trabalho evidencia que as SAFs, por sua diversidade de espécies e ciclo regenerativo, oferecem uma ampla gama de materiais naturais passíveis de utilização em construções rurais, concluindo que a integração entre arquitetura e agricultura sintrópica é uma estratégia promissora para promover a sustentabilidade no campo, ampliando as possibilidades de autogestão e fortalecimento das comunidades rurais. A abordagem apresentada fornece subsídios para futuras pesquisas e o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para práticas construtivas sustentáveis. A ampliação do repertório de soluções e a replicação das metodologias em outros contextos podem contribuir significativamente para transformar a relação entre habitação, meio ambiente e economia no espaço rural brasileiro.

Palavras-chave: Sistemas Agroflorestais, Construção Sustentável, Autogestão Habitacional, Sustentabilidade Rural.



ABSTRACT:

ARCHITECTURE AND AGRICULTURE: THE SYMBIOTIC POTENTIAL BETWEEN CONSTRUCTION SYSTEMS AND AGROFORESTRY SYSTEMS.

Luiz Vicente Ferreira Fasciotti

Supervisor: DsC. Marcos Martinez Silvano

This dissertation examines the integration between construction systems and agroforestry systems, focusing on materials derived from Successional Agroforestry Systems (SAFs). It aims to understand how the synergy between architecture and agriculture can offer sustainable and affordable housing solutions for small-scale rural producers. Through a theoretical and experimental approach, materials such as bamboo, eucalyptus, plant fibers, and biomass were investigated, highlighting their technical potential, practical limitations, and applicability in rural contexts.

The work presents a case study conducted in Visconde de Mauá, which served as the basis for practical experiments. The results showed that materials like bamboo and earth are highly replicable alternatives for self-built structures due to their ease of handling and low cost. On the other hand, the use of eucalyptus proved challenging, requiring specific tools and collaborative work, yet demonstrating potential for use in more robust structures. The research also explored, through a literature review, the use of surplus biomass from mature SAFs for electricity generation, emphasizing an integrated approach that connects housing with energy sustainability.

The study highlights that SAFs, due to their species diversity and regenerative cycles, provide a wide range of natural materials suitable for rural construction. It concludes that integrating architecture with syntropic agriculture is a promising strategy for promoting sustainability in rural areas, enhancing self-management capabilities, and strengthening rural communities. The approach presented offers a foundation for future research and the development of public policies geared towards sustainable construction practices. Expanding the repertoire of solutions and replicating the methodologies in other contexts could significantly contribute to transforming the relationship between housing, the environment, and the economy in the Brazilian rural landscape.

Keywords: Agroforestry Systems, Sustainable Construction, Housing Self-Management, Rural Sustainability.



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Objetivos	21
1.2. Método.....	22
1.3. Organização Da Pesquisa	22
2. SISTEMAS AGROFLORESTAIS	24
2.1. As primeiras SAFs brasileiras.....	25
2.2. SAFs e a agricultura familiar	28
2.3. Os princípios básicos das SAFs	34
2.4. Exemplos de SAFs no cenário brasileiro.....	45
3. USO DE MATERIAIS NATURAIS NA ARQUITETURA	51
3.1. Terra	52
3.2. Fibras Vegetais	62
3.3. Bambu	67
3.4. Madeira	75
4. ESTUDO DE CASO: Ebiobambu – Visconde de Mauá – RJ	83
5. EXPERIMENTAÇÃO	88
5.1. SAFs de 0 a 1 ano: Adobe com fibras vegetais para pequenas construções.....	89
5.1.1. Resultados	99
5.2. SAFs de 1 a 5 anos: O bambu para sistemas de cobertura.	102
5.2.1. Resultados	109
5.3. SAFs de 5 a 10 anos: Estruturas de eucalipto roliço para galpões.....	117
5.3.1. Resultados	125
5.4. SAFs de 10 a 30 anos: Biomassa para geração de energia elétrica.	135
5.4.1. Resultados	139
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	141
7. REFERÊNCIAS	144



LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapas Terra Brasilis.....	26
Figura 2 - Classificação Sucessional de espécies.....	35
Figura 3 - Exemplos de espécies presentes em sistemas de lignina.....	37
Figura 4 - Estratos de uma Agrofloresta.....	38
Figura 5- Distribuições espaciais de SAF's.....	40
Figura 6 - Infográfico de desenvolvimento de SAF na Amazônia.....	44
Figura 7 - Estágios de desenvolvimento de um solo, com os horizontes principais.....	56
Figura 8- Técnicas construtivas com terra.....	58
Figura 9 - Morfologia da planta e seus produtos derivados.....	70
Figura 10 - Regiões do colmo do bambu.....	71
Figura 11 - Sistemas estruturais em madeira roliça.....	79
Figura 12 - Tipos de conexões em eucalipto.....	80
Figura 13 - Imperfeições presentes em madeira roliça.....	81
Figura 14 - Escola de Bioarquitetura e Centro de Pesquisa e Tecnologia Experimental em Bambu.....	84
Figura 15 - Imperfeições presentes em madeira roliça.....	85
Figura 16 – Ilustração da área de plantio da Agrofloresta.....	87
Figura 17 – Ilustração da área de plantio da Agrofloresta.....	90
Figura 18 - Teste de Carazas.....	95
Figura 19 - Registros da coleta de material.....	96
Figura 20 - Medição e corte das fibras de capim.....	97
Figura 21 - Confeção do primeiro Adobe.....	98
Figura 22 - Matriz Carazas com todos os blocos realizados.....	99
Figura 23 - Comparação fissuração bloco com acréscimo de fibras(esquerda) com bloco sem acréscimo de fibras(direita).....	101
Figura 24 – Ilustração da área de plantio da Agrofloresta 1 a 5 anos.....	104
Figura 25 - Tesoura de telhado em bambu.....	108
Figura 26 – Maquete virtual da tesoura de telhado em bambu.....	109
Figura 27 – Maquete física da tesoura de telhado em bambu.....	110
Figura 28 – Maquete virtual revisada da tesoura de telhado em bambu.....	111
Figura 29 – Processo de retirada dos bambus.....	112
Figura 30 – Pré-fabricação das peças da tesoura.....	112
Figura 31 – Tratamento das peças da tesoura.....	113
Figura 32 – Execução de uma boca de pescado.....	114
Figura 33 – Conexões que enfrentaram dificuldades na montagem.....	115
Figura 34 – Tesoura finalizada.....	116
Figura 35 – Ilustração da área de plantio da Agrofloresta 5 a 10 anos.....	118



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROARQ – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura

Figura 36 - Detalhe de construção de uma estrutura de telhado em bambu.....	119
Figura 37 - estrutura “Whale Bone”	124
Figura 38 - projeto estrutura “Whale Bone”	126
Figura 39 - Maquete estrutura “Whale Bone”	127
Figura 40 – Detalhe maquete estrutura “Whale Bone”	127
Figura 41 – Projeto revisado da estrutura “Whale Bone”	128
Figura 42 – Peças no canteiro experimental da UFRJ.....	129
Figura 43 – Demarcação peça de trabalho	130
Figura 44 – Demarcação peça de trabalho	130
Figura 45 – Entalhes nas peças de encaixe.....	131
Figura 46 – Encaixe Escora / Linha	132
Figura 47 – Montagem inicial da peça	132
Figura 48 – Processo para curvatura da peça	133
Figura 49 – Estrutura finalizada	133
Figura 50 – Ilustração da área de plantio da Agrofloresta 10 a 30 anos.	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tabela de espécies de bambu e suas dimensões.....	73
Tabela 2- Massa das amostras em relação ao processo de secagem	96
Tabela 3 - Proporções que serão executadas	98

1. INTRODUÇÃO

[...] As finas andas que se elevam do solo a grande distância uma da outra e que se perdem acima da nuvem sustentam a cidade. Sobre-se por escadas. Os habitantes raramente são vistos em terra: têm todo o necessário lá em cima e preferem não descer. Nenhuma parte da cidade toca o solo exceto as longas pernas de flamingo nas quais ela se apoia, e, nos dias luminosos, uma sombra diáfana e angulosa que reflete na folhagem.¹

Em *Cidades Invisíveis* (1972), o viajante veneziano Marco Polo descreve para o imperador Kublai Khan as cidades que visitou. Em um curto relato, conta sobre Bauci, uma cidade por onde se chega através das matas sem perceber sua exata localização. A reflexão feita por Marco Polo acerca de Bauci ainda é uma questão atual, pensar em construções integradas com a natureza é um desafio a ser encarado pelas cidades modernas.

Trazendo a questão para o recorte de tempo e espaço relativos ao Brasil pós industrialização do campo, conseguimos traçar um paralelo onde o tema ainda suscita debates e questionamentos. A falta de políticas públicas direcionadas fez com que esse processo criasse distorções no cenário rural brasileiro contemporâneo, resultando em problemáticas importantes na sua dinâmica socioespacial. Hoje o pequeno produtor familiar do campo brasileiro carece de soluções alternativas para cultivo e habitação. (ARRUDA; ARAÚJO, 2019)

A partir do início da década de 60, observou-se no Brasil um rápido e intenso processo de êxodo rural, o censo demográfico 2010 aponta que dentro do período compreendido entre as décadas de 1960 e 1980 o Brasil apresentou mais de 20 milhões de migrantes no país. Esse processo, passou a provocar, tanto situações de expulsão no meio rural como situações de incorporação no segmento urbano (PATARRA, 2003). Sua motivação se deu por diversos fatores socioespaciais, destacando-se as políticas de industrialização de substituição de importação e a mecanização do campo como os principais fatores de atração/repulsão desses habitantes (ALVES, 2011).

¹ CALVINO, Italo. *As cidades Invisíveis*. São Paulo, Companhia das Letras, 1991

Ainda segundo o censo (2010), o movimento migratório pós década de 90 começou a ser menos relevante, porém, a região nordeste devido a particularidades específicas ainda apresenta forte tendência de migração e de potencial migratório, valendo ressaltar que a mesma é a região com maior percentual de habitantes vivendo em áreas rurais (26,88%). O Nordeste rural tem uma renda muito menor comparada a regiões mais ao Sul do Brasil e isso é um dos principais indicadores que determinam esse potencial (ALVES, 2011).

A mecanização alterou o perfil do trabalho no campo e influenciou a diminuição de mão de obra no setor nos últimos 11 anos. De acordo com o Censo Agropecuário 2017, divulgado pelo IBGE, o número de estabelecimentos com tratores aumentou 50% em relação ao último Censo, realizado em 2006. Durante esse mesmo período, o setor agropecuário perdeu cerca de 1,5 milhão de trabalhadores. O pessoal ocupado nos estabelecimentos agrícolas diminuiu 8,8%, indo de 16,6 milhões de pessoas em 2006 para 15,1 milhões em 2017. Esse número inclui a perda de 2,2 milhões de trabalhadores na agricultura familiar e aumento de 703 mil na agricultura não familiar.

Por outro lado, o mesmo levantamento mostra que o pequeno produtor rural é crucial para a conjuntura brasileira, os dados do Censo 2017, também revelam que 76,8% dos 5,073 milhões de estabelecimentos rurais do Brasil foram caracterizados como pertencentes à agricultura familiar. Essa modalidade tem a capacidade de produzir de forma altamente diversificada, possibilitando garantir a sua segurança alimentar ao mesmo tempo que contribui de maneira crucial para a alimentação básica da população urbana do país (MAY; TROVATTO, 2008).

Com cada vez menos espaço nas grandes lavouras, sem renda e sem moradia, o trabalhador do campo se vê em situação de impasse e impotência, ao mesmo tempo que a agricultura familiar no Brasil é uma atividade fundamental para o desenvolvimento do país o produtor rural tem dificuldades de encontrar terra fértil e disponível para plantação, o Brasil hoje, principalmente na zona do semiárido, sofre sérios problemas com o processo de desertificação e degradação de suas terras. De acordo com estimativas do Laboratório de Análise e Processamento de Imagens e Satélites (Lapis), ligado à Universidade Federal de Alagoas (Ufal), 12,85% do semiárido brasileiro enfrenta o processo de desertificação. Ou seja, considerando uma área total de 982.563,3 km² dessa região, 126.336 km² estão se transformando em deserto.

Sem conhecimento para plantar em terras degradadas, sem renda e sem moradia o pequeno produtor rural sofre traumas individuais em sua trajetória de vida ficando sem opção a não ser abandonar suas raízes familiares, sua terra natal e todo seu conhecimento técnico profissional em busca de condições dignas de sobrevivência, porém, os efeitos de um êxodo rural, são as expansões desenfreadas das periferias urbanas, causando consequências como: habitações irregulares muitas vezes em áreas de risco; A formação de vazios demográficos no campo; O aumento expressivo do desemprego e do emprego informal.

É imperativo buscar alternativas e meios de subsistência para esse grupo dentro do próprio contexto rural. Para esse segmento, a migração para áreas urbanas já não se mostra como uma opção viável, especialmente devido à limitada qualificação da mão-de-obra para se inserir em outros setores que não o agrícola. Mesmo no setor de serviços, os requisitos de habilidades profissionais têm aumentado consideravelmente, constituindo-se como uma barreira à entrada. (SCHNEIDER; CASSOL, 2013)

Outro fator que contribuiu de maneira significativa para esse processo foi a chamada Revolução Verde agravando o cenário de mão de obra fora do campo, intensificando em seu lugar, a monocultura em larga escala, ambiente fabricado artificialmente para produzir alimentos, e que naturalmente concentra dinheiro e terra para cada vez menos pessoas. Tudo isto aconteceu como resultado de políticas públicas pautadas pelo interesse de grandes empresas transnacionais (NETO, STEENBOCK, *et al.*, 2016)

Para fortalecer a agricultura familiar é preciso repensar as condições de vida do campo, além de terra para plantar e morar é necessário capacitar o pequeno produtor a técnicas de plantio divergentes do agronegócio atual, que tem ajudado a prejudicar esse cenário trazendo consequências quase irreparáveis tanto na esfera ambiental, como social, pois vão desde a erosão do solo à marginalização do agricultor familiar

O agronegócio brasileiro, baseado na exploração da terra através do cultivo de monoculturas, contribui para o agravamento da situação, porém, sistemas de plantio baseados na policultura, podem servir de apoio para um sistema econômico mais produtivo e alinhado com a agricultura familiar. Ana Maria Primavesi, uma das pioneiras da agroecologia no Brasil, destacou em suas obras a necessidade de compreender o solo como um organismo vivo, base fundamental para a sustentabilidade agrícola. Seu trabalho enfatizou princípios essenciais da agroecologia, como o manejo de solos vivos,

a preservação da biodiversidade e a proteção contra a erosão e o aquecimento excessivo. Essas ideias fundamentam a necessidade de práticas agrícolas que respeitem os processos naturais e promovam a resiliência dos sistemas produtivos. Primavesi também realçou o papel da matéria orgânica e da cobertura vegetal na manutenção da fertilidade do solo, além de apontar a importância de práticas como a rotação de culturas e o manejo ecológico para a recuperação da saúde do solo. Sua obra *Manejo Ecológico do Solo* consolidou esses conceitos e ofereceu diretrizes práticas para agricultores, enfatizando que a relação harmoniosa entre solo, planta e ambiente é essencial para a sustentabilidade agrícola (PRIMAVESI, 1980).

No mesmo sentido de Primavesi, podemos destacar a agricultura Sintrópica ou Sistema Agroflorestal Sucessional(SAF), desenvolvida por Ernest Götsch (1995), com resultados publicados em “Breakthrough in Agriculture”, se mostrando eficiente na recuperação de solos extremamente degradados, aparecendo como uma possível e poderosa ferramenta de auxílio ao pequeno produtor, pois além de ajudar na recuperação do solo possui reduzido custo entrópico, se desenvolvendo com um gasto mínimo de energia reaproveitando a matéria orgânica do próprio sistema, sem maquinaria pesada, agrotóxicos, insumos e defensivos químicos.

Götsch, contraponto a esse método de colheita, subverteu a lógica da monocultura e começou seus estudos atestando que dinâmicas de sucessão natural deveriam ser incorporadas à agricultura, favorecendo, tal como em uma floresta, o estabelecimento de ecossistemas com níveis de organização cada vez mais amplos. Seus estudos sobre os Sistemas Agroflorestais consistem em uma forma de uso da terra na qual se resgata a maneira ancestral de cultivo, combinando espécies arbóreas lenhosas como frutíferas ou madeiras com cultivos agrícolas e/ou animais. Essa combinação pode ser feita de forma simultânea ou em sequência temporal, trazendo benefícios econômicos e ecológicos ajudando agricultores a incrementar produtividade, rentabilidade e sustentabilidade em suas terras (GÖTSCH, 1995).

Dentro desse contexto, os sistemas agroflorestais apresentam-se como um desdobramento prático dos princípios da agroecologia defendidos por Primavesi. Essa abordagem integra culturas agrícolas e espécies florestais, promovendo a diversidade de espécies e imitando os processos naturais dos ecossistemas. Segundo Primavesi, os sistemas agroflorestais são estratégicos para a conservação do solo, o controle biológico de pragas e a redução da dependência de insumos químicos, contribuindo para a produção sustentável. Além disso, esses sistemas reforçam a saúde do solo, favorecem o sequestro

de carbono e aumentam a resiliência dos ecossistemas agrícolas às mudanças climáticas. Assim, a interface entre agroecologia e agroflorestas representa uma alternativa eficaz para alcançar a sustentabilidade a longo prazo, alinhando práticas agrícolas com os ciclos e funções naturais, conforme defendido nas publicações de Primavesi (PRIMAVESI, 2000).

Ainda em sentido convergente, Wellington Cançado explora a interação entre humanos e a natureza por meio de práticas integrativas como agroflorestas e jardins, propondo uma visão que transcende o urbanismo tradicional e abraça alianças multiespécies. Em sua pesquisa, jardins e agroflorestas são descritos como "microcosmos possíveis", ou seja, territórios que integram elementos vivos e não vivos em relações simbióticas e regenerativas, criando uma base para a coexistência entre espécies humanas e não-humanas. Essas práticas desafiam paradigmas antropocêntricos e propõem uma arquitetura voltada ao cuidado com a biodiversidade, promovendo modos de vida enraizados em memórias ancestrais e conhecimentos tradicionais (CANÇADO, 2019).

As agroflorestas, por exemplo, combinam práticas agrícolas e florestais para restaurar ecossistemas degradados enquanto produzem alimentos e outros recursos. Segundo Cançado, esses sistemas não apenas promovem sustentabilidade, mas também oferecem uma abordagem de urbanismo sensível às interações locais entre terra, água, plantas e comunidades. Este conceito está alinhado à "Terra Viva" de Gaia, que vê o planeta como um organismo em constante transformação e requer práticas de arquitetura que respeitem esses ciclos naturais (STENGERS, 2004; CANÇADO, 2019).

A importância do tema foi reafirmada pelo arquiteto e pesquisador Paulo Tavares, em sua participação na Bienal de Arquitetura de Veneza 2023, onde apresentou a agrofloresta como um modelo que transcende a produção agrícola, inserindo-se como uma prática regenerativa e decolonial. No pavilhão "Terra", Tavares destacou como sistemas agroflorestais já eram implementados por comunidades indígenas e quilombolas contribuindo para a preservação ambiental e a ressignificação de territórios historicamente marginalizados. A agrofloresta, nesse contexto, é abordada como um modelo de integração entre a produção sustentável e a conservação da biodiversidade, alinhado a perspectivas de justiça climática e social (TAVARES, 2023).

Tavares enfatizou que as áreas mais preservadas do Brasil estão sob gestão de comunidades tradicionais, evidenciando a eficácia das práticas agroflorestais como estratégias de descarbonização e regeneração ambiental. Estudos acadêmicos

relacionados corroboram essa visão, destacando benefícios como o aumento da qualidade do solo, a resiliência climática e a diversificação de cultivos. Apesar disso, desafios como a falta de assistência técnica e as barreiras econômicas para a implementação ainda limitam a adoção em larga escala (BOELSUMS; SANSEVERO; TAVARES, 2019).

Na Bienal, o "aterramento" do espaço expositivo simbolizou uma reconexão literal e metafórica com a terra, reforçando o protagonismo de saberes ancestrais na construção de um futuro sustentável e inclusivo. A prática agroflorestal, além de seu papel ecológico, é apresentada como uma narrativa de resistência frente à lógica colonialista e à degradação ambiental (TAVARES, 2023).

Analisando a conjuntura brasileira atual, Lima (2021), através de sua tese, concluiu com o estudo de alguns assentamentos que utilizavam práticas Sintrópicas no Cerrado brasileiro que as técnicas da agricultura agroflorestal aplicadas à realidade desses agricultores alavancariam a produção de alimentos; traria benefícios sociais, econômicos e tecnológicos; e atuaria na recuperação ambiental, pois a longo prazo as áreas degradadas seriam convertidas em florestas capazes de aumentar a disponibilidade de água.

Observando que sistemas de agricultura sintrópica tem como fundamento base o cultivo misto de uma diversidade ampla de consórcios, é possível identificar que seu manejo e colheita resulta em uma alta variedade de materiais. Diferente da monocultura, agroflorestas são cultivadas combinando espécies arbóreas lenhosas com cultivos agrícolas, resultando em uma grande variedade de troncos, bambus, fibras vegetais, terra adubada e outros compostos orgânicos presentes em diversas técnicas construtivas sustentáveis.

Em sentido convergente a isso, a literatura avança no desenvolvimento de vários sistemas construtivos que envolvem considerar conjuntamente os critérios da equidade social, da qualidade ambiental e da viabilidade econômica, preocupando-se com o consumo dos recursos naturais disponíveis nos tempos atuais, em favor das sociedades futuras. A procura por materiais e técnicas construtivas que se integram no setor da construção civil sustentável precisa crescer, porque quanto mais materiais e novas ideias de projetos sustentáveis surgirem, menor serão os impactos ambientais. E sendo o setor da construção aquele entre os que mais polui, é fundamental que também seja o setor cujos profissionais mais se preocupem em inverter o processo (BICALHO, 2020).

Da mesma maneira que Gotsh se deparou com técnicas atuais de produção e encontrou no passado respostas para problemáticas do presente - estudando o cultivo

florestal acerca de uma lógica já presente em nosso ecossistema - diversos estudos sobre métodos construtivos também repetem o mesmo caminho. Retornar ao passado para aprender, e utilizar o futuro para aprimorar.

Diversas técnicas de construção estudadas atualmente, tem sua origem embrionária em soluções encontradas por povos e culturas anteriores, onde, usando apenas o que o meio poderia oferecer, chegaram em respostas construtivas extremamente efetivas para questões ambientais, sociais e econômicas. Alinhado a este propósito, vemos a arquitetura vernacular possuindo importante papel na sociedade moderna, pois as características bioclimáticas das edificações são exemplos de sustentabilidade arquitetônica (COSTA, 2014; OLIVER, 2006). Podemos definir a arquitetura vernacular como uma “identidade cultural local” do Brasil onde a tipologia construtiva varia de acordo com características geográficas, climáticas e biodiversidade locais (SANTOS, 2007).

[...]A arquitetura vernacular é normalmente produzida por povos que dispõem de um nível tecnológico bem menos avançado do que o da sociedade "moderna" (conceito que é, aliás, relativo, pois também aqueles povos, à sua maneira, o são), nível este que inclui não só os aspectos especificamente construtivos, mas também os referentes aos transportes, comunicação, etc. Por este motivo, essa arquitetura será essencialmente o resultado do que oferece o meio físico-geográfico local. ²

No contexto brasileiro constata-se as seguintes técnicas construtivas que permitem identificar a construção Vernacular Brasileira: Pau-a-pique e adobe; palafitas; enxaimel; construção em tábuas e mata-juntas.

[...] A Taipa-de-sopapo - também conhecida como barro armado, taipa-de-mão ou pau-a-pique, baseia-se em uma técnica mista, que consiste em armar uma estrutura de ripas de madeira ou bambu, preenchidas com barro e fibra. A trama pode ser amarrada com seda em rama, linho, cânhamo, tucum, imbé ou buriti, bem como, outros diversos gêneros próprios para cordas, conhecidas no

² TEIXEIRA, Rubenilson Brazão. **Arquitetura vernacular. Em busca de uma definição.** *Arquitextos*, São Paulo, ano 17, n. 201.01, Vitruvius, fev. 2017 <<https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/17.201/6431>>

Brasil pelo nome de embiras. Assim, com a trama armada e amarrada, o barro é posto sob pressão sobre a malha de bambu e ou ripas formando uma parede sólida. O sistema construtivo enxaimel, columbagem ou entramado estrutural consiste em uma técnica construtiva vernacular em madeira composta por paredes montadas com hastes de madeira encaixadas entre si, em posições horizontais, verticais e ou inclinadas, cujos espaços entre estas hastes são preenchidos, geralmente, por tijolos ou pedras.³

Conclui-se então a grande importância da construção a partir de materiais naturais no cenário histórico brasileiro. Em contraponto, a sociedade contemporânea vem enfrentando os problemas ambientais causados pela ação do homem no processo de produção de bens de consumo, acentuando-se ao final do século XX, resultando na sensibilização da sociedade quanto a urgente necessidade de reverter este cenário. Com essa problemática presente também na construção civil, a arquitetura e construção retornam na busca por alternativas sustentáveis, incentivando a demanda e a oferta para a formação e capacitação de profissionais preocupados em atender aos novos paradigmas (FARIA; NEVES, 2011).

É possível também definir arquitetura vernacular de acordo com os conceitos defendidos por Weimer (2005) em “Arquitetura popular brasileira”. O autor aborda a distinção entre "arquitetura popular" e "arquitetura erudita". Essa distinção surge ao sugerir que, no nível mais básico e essencial, associado ao segmento popular, as necessidades primordiais de proteção e abrigo são mais imediatas, soluções diretamente relacionadas com construções frequentemente definidas como vernaculares, caracterizadas por um viés voltado para autoconstrução. Enquanto no nível mais superficial, que se aproxima do erudito, a ênfase recai sobre a estética e a intenção artística, as quais podem variar. Portanto, Weimer defende o emprego de tipologias e soluções construtivas que podem não estar presente na comunidade local, mas que farão uso dos materiais disponíveis visando de maneira direta sua proteção e abrigo.

A dissertação de Cecília Corrêa Lenzi (2017) analisa a produção habitacional camponesa no âmbito do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), com foco no

³ BARBOSA, J. C.; MORALES, E. A. M.; SOUZA, A. J. D. de.; CAMPOS, C. I. de.; ARAÚJO, V. A. de. Estudo de tipologias construtivas vernaculares em madeira pós-enchente em São Luiz do Paraitinga, Brasil. In: CIMAD 11 – 1º Congresso Ibero-LatinoAmericano da Madeira na Construção, 2011

Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR). Baseando-se em um estudo de caso em Santa Catarina, a autora investiga a relação entre as habitações projetadas pelo programa e as necessidades específicas do campesinato. Segundo Lenzi (2017), a lógica de produção habitacional urbana, predominante no PMCMV, contrasta profundamente com as práticas tradicionais da arquitetura campesina, caracterizada pela relação com o autoconsumo, o uso de materiais locais, a participação direta das famílias no processo construtivo e a adaptação ao contexto ambiental e cultural. Essas práticas refletem uma produção habitacional enraizada no modo de vida e na autonomia dos camponeses, frequentemente incompatível com os modelos padronizados adotados pelas políticas públicas.

A autora destaca que a arquitetura campesina está intrinsecamente vinculada à autoconstrução, incorporando saberes populares e uma estética funcional, moldada pelas condições socioeconômicas e geográficas (LENZI, 2017). Ao contrário da habitação social urbana, regida por normas padronizadas, as moradias camponesas apresentam flexibilidade, integrando plantações, espaços adaptados às necessidades familiares e uso eficiente de recursos naturais. Lenzi aponta que a imposição de modelos arquitetônicos urbanos pelo PNHR desconsidera essas especificidades, gerando inadequações no atendimento às demandas do campesinato. A autora defende, assim, a formulação de políticas habitacionais que valorizem as práticas e os valores da arquitetura campesina, promovendo a sustentabilidade e a preservação cultural no meio rural.

Conclui-se, portanto, que a valorização de práticas arquitetônicas tradicionais e sustentáveis, como a arquitetura vernacular e campesina, é essencial para atender às necessidades específicas das comunidades e promover soluções alinhadas à preservação ambiental e cultural. A integração de saberes locais, o uso de materiais naturais e a flexibilidade construtiva destacam-se como estratégias eficazes para superar os desafios impostos pelos modelos habitacionais padronizados, sobretudo no contexto rural. Assim, torna-se imprescindível que políticas públicas reconheçam e incorporem essas práticas, contribuindo para a sustentabilidade, a autonomia das comunidades e a valorização de seus modos de vida.

Em sentido convergente, os avanços tecnológicos presentes na modernidade, permitem não apenas a replicação das técnicas seculares de construção, segundo Cauderay, Dejeant e Moles (2011) e Caramelo (2016) é possível utilizar práticas e tecnologias modernas de construção alinhadas a técnicas vernaculares com o propósito

de potencializar seus resultados. Em suas produções os autores tratam dos conceitos e detalhes técnicos específicos identificados na pesquisa dos cenários escolhidos buscando projetos para preservar o conhecimento existente e melhorar o habitat nas áreas-alvo, fazendo o melhor uso dos recursos locais e respeitando as realidades ambientais, culturais, sociais, técnicas e econômicas das comunidades.

Dessa forma, observa-se, por um lado, a busca por alternativas mais sustentáveis para o modelo de construção predominante no país e, por outro, a procura por métodos agrícolas mais alinhados às demandas e carências brasileiras. Embora, à primeira vista, essas duas questões pareçam desconectadas, esta pesquisa parte do pressuposto de que a conexão entre elas pode residir na ampla gama de subprodutos gerados por sistemas de policultura. De acordo com Costa (2014) e Oliver (2016), as arquiteturas vernaculares já apresentam soluções bioclimáticas eficientes utilizando uma quantidade limitada de materiais disponíveis no meio físico-geográfico. Partindo desse conceito sustentável, esta dissertação propõe que a integração entre Arquitetura e Agricultura Sintrópica pode potencializar esses resultados, ampliando as possibilidades de soluções e alternativas para sistemas construtivos sustentáveis.

Embora o termo "arquitetura sintrópica" não seja amplamente reconhecido na literatura científica, é possível estabelecer uma conexão conceitual entre os princípios da agricultura sintrópica e abordagens arquitetônicas que buscam harmonizar construções humanas com os processos naturais. Silva e Souza (2021) destacam que práticas arquitetônicas que incorporam elementos da natureza, como telhados verdes e paredes vivas, promovem a biodiversidade, otimizam o microclima urbano e aumentam a eficiência energética. Assim como a agricultura sintrópica, a arquitetura sintrópica prioriza a integração, a organização e o equilíbrio entre as estruturas criadas pelo homem e os ecossistemas naturais (GÖTSCH, 1995).

A aplicação de conceitos sintrópicos na arquitetura pode resultar em edificações que não apenas minimizam impactos ambientais, mas também contribuem ativamente para a regeneração dos ecossistemas. Por exemplo, a integração de sistemas de paisagismo funcional e o uso de materiais naturais possibilitam a criação de habitats para diversas espécies, melhoram a qualidade do ar e regulam a temperatura, promovendo um ambiente mais saudável e sustentável (SILVA, 2020). A conexão entre arquitetura sintrópica e agricultura sintrópica reside, portanto, na adoção de princípios que

harmonizam as atividades humanas com os processos naturais, promovendo sistemas resilientes e sustentáveis.

Além disso, analisando o cenário de recuperação de áreas degradadas através de sistemas agroflorestais, nota-se que o processo teria a capacidade de transformar um meio que impossibilita qualquer tipo de moradia e vida digna em um ambiente que fornece todos os materiais capazes de viabilizarem a construção de moradias clássicas vernaculares, além de inserir nesse contexto diversas outras possibilidades construtivas que não pertenciam originalmente ao cenário tradicional brasileiro.

A pesquisa se propõe a contribuir nesse processo, buscando e identificando métodos construtivos já utilizados na arquitetura brasileira e, analisando, pautado no cenário mais amplo fornecido pelas agroflorestas, novas técnicas que possam vir a contribuir, potencializando a viabilidade e resultado dessas construções. Aliado a este objetivo, o trabalho visa encontrar técnicas e metodologias que possibilitem sua reprodução no campo, dissertando sobre a melhoria das autoconstruções rurais do país.

O desenvolvimento do presente trabalho justifica-se pela necessidade de se pensar novas formas e estratégias integradas de habitação e cultivo para agricultor brasileiro de maneira sustentável e disruptiva, diferentemente do que tem sido predominante até hoje. Na pesquisa bibliográfica preliminar, não foram encontrados trabalhos que tratem diretamente a conexão entre arquitetura e sistemas agroflorestais, reforçando a justificativa de mais desenvolvimento nesta área, tendo em vista que são sistemas com alto potencial simbiótico e que, conectados, poderão ser capazes de trazer diversas respostas tanto nos âmbitos sociais e econômicos quanto em questões ambientais.

Ao combinar os benefícios dos sistemas agroflorestais, como a recuperação de terras degradadas, o baixo custo de implementação, a facilidade de manejo e o retorno financeiro significativo, com as vantagens dos métodos construtivos sustentáveis — que incluem canteiros limpos, baixo impacto ambiental, custo reduzido, alta qualidade no conforto térmico e acústico e facilidade na capacitação de mão de obra —, espera-se contribuir positivamente para o cenário em questão. Essa integração busca destacar a importância de soluções que promovam a emancipação do pequeno produtor rural, oferecendo ferramentas que possibilitem a autogestão, tanto na construção de sua moradia quanto na realização digna de suas atividades laborais.

Partindo dos sistemas agroflorestais como potenciais soluções para os desafios do cenário rural brasileiro contemporâneo, este estudo explora o papel da habitação nessa dinâmica. O foco recai sobre a análise de possibilidades de integração entre métodos construtivos e a agricultura, utilizando materiais provenientes de Sistemas Agroflorestais Sucessionais. Por meio de um estudo de caso, busca-se identificar técnicas de construção promissoras e avaliar suas viabilidades através de protótipos, considerando um modelo de simbiose entre Arquitetura e Agricultura. Nesse sistema integrado, ser humano e natureza, arquitetura e agricultura, moradia e trabalho evoluiriam em harmonia, sem uma fase final predeterminada. O crescimento orgânico e sustentável poderia acomodar as necessidades da família ao longo do tempo, incluindo futuras gerações, promovendo um ciclo contínuo de desenvolvimento conjunto.

1.1. Objetivos

O presente trabalho se propõe a analisar e estudar técnicas de métodos construtivos e sistemas agroflorestais de maneira simbiótica visando potencializar seus retornos sociais, econômicos e ambientais.

Os resultados dessa pesquisa visam contribuir para discussão acerca das problemáticas da vida do trabalhador rural brasileiro contemporâneo conectando a questão habitacional com seu emprego e fonte de renda. O objetivo deste trabalho é elencar materiais naturais que possam ser retirados da produção agroflorestal de acordo com seu amadurecimento e vincular seu uso à construção civil analisando alternativas metodológicas que auxiliem o pequeno produtor rural a obter melhores resultados e desempenhos construtivos em um cenário de autoconstrução.

Objetivos Específicos:

- A. Reunir informações sobre o estado da arte a respeito da Agricultura Sintrópica identificando refugos em seu manejo que possuam potenciais construtivos.
- B. Identificar e descrever materiais e sistemas construtivos que possam aproveitar resíduos provenientes do manejo de SAF's, visando um modelo de arquitetura conectada a um sistema agroflorestal;

C. Identificar e realizar metodologias que possam ser reproduzidas pelo pequeno produtor rural auxiliando a obtenção de melhores desempenhos em suas construções;

D. Propor intervenções a partir de ciclos de desenvolvimento da SAF de estudo de caso vinculando seu amadurecimento à rejeitos que possam ser utilizados em construções.

1.2. Método

Os métodos previstos para realização do trabalho consistem na elaboração de revisão bibliográfica sobre o tema de Sistemas Agroflorestais, revisão bibliográfica para materiais naturais e suas utilizações na construção civil, com ênfase em materiais que possam ser retirados de SAF's,(terra, fibras vegetais, bambu e eucalipto).

Para desenvolvimento da pesquisa será definido um estudo de caso como ferramenta metodológica que possibilitará investigar as reais demandas e dificuldades encontradas no cultivo de uma SAF ainda em fase inicial de implementação, com isso, a partir dessa análise serão definidos matérias e técnicas de construção que serão estudadas através de protótipos com o objetivo de demonstrar potenciais respostas de viabilidade e eficiência dos modelos visando replicação no cenário real abordado no estudo de caso.

1.3. Organização Da Pesquisa

A presente pesquisa foi dividida em 5 capítulos, dentre eles:

Capítulo 1: O primeiro capítulo aborda a introdução ao tema, descrevendo sobre a importância e a justificativa do estudo, objetivos gerais, específicos e a organização do trabalho;

Capítulo 2 e 3: Os capítulos dois e três se dividem entre duas revisões bibliográficas necessárias ao estudo, abordando sobre estado da arte das plantações que utilizam o Sistema Agroflorestal e uma passagem geral sobre o uso de materiais naturais na arquitetura brasileira.

Capítulo 4: O quarto capítulo apresenta o estudo de caso abordado na pesquisa, relatando sobre o histórico da plantação estudada e a análise das espécies atuais encontradas

Capítulo 5: O capítulo subsequente apresenta o desenvolvimento do programa experimental, elencando os materiais escolhidos, as técnicas construtivas selecionadas e as metodologias de pesquisa encontradas relacionando aos ciclos de amadurecimento da SAF em questão, além de abordar os resultados preliminares acerca do programa.

Capítulo 6: O sexto capítulo é composto pelas considerações finais do estudo e discussões acerca das próximas etapas de pesquisa.

Capítulo 7: O último capítulo apresenta toda a bibliografia referenciada no desenvolvimento da dissertação.

2. SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Sistemas agroflorestais já são uma realidade no cenário brasileiro, já existem exemplos de implementações com resultados significativos em relação a recuperação de terras degradadas, melhoria de renda para pequenos produtores rurais, diversificação de colheitas e segurança alimentar para agricultores além de diminuição do uso de maquinários e pesticidas, porém, antes de abordarmos algumas dessas experiências necessitamos tecer algumas reflexões e revisões do tema. Este capítulo tem como objetivo introduzir este conceito através da criação de alguns tópicos relevantes, onde, primeiramente, identifica-se as primeiras experiências com agroflorestas no contexto brasileiro através de registros históricos que fornecem uma compreensão valiosa sobre como esses sistemas foram inicialmente concebidos e implementados.

Destaca-se também, a forte relação entre os SAFs e a agricultura familiar, evidenciando como esses sistemas se configuram como uma alternativa sustentável e economicamente viável para pequenos agricultores. Neste tópico o capítulo realiza uma breve introdução histórica referente a agricultura familiar brasileira posicionando o estado atual da prática agrícola e como sistemas agroflorestais podem se colocar como importante ferramenta de fomento para estes pequenos produtores

Por conseguinte, realiza-se uma explanação sobre princípios básicos da agricultura sintrópica, demonstrando seus conceitos básicos e sua metodologia de implantação, analisando os ciclos produtivos e as relações primordiais entre as espécies que compõe os sistemas.

Por fim, são apresentados alguns exemplos concretos de SAFs brasileiras para ilustrar a diversidade de abordagens e configurações que podem ser adotadas. Isso inclui desde os modelos mais tradicionais, como a combinação de árvores frutíferas com cultivos anuais, até abordagens mais inovadoras, como SAFs voltados para a produção de madeira de alto valor e recuperação de solos.

2.1. As primeiras SAFs brasileiras

[...] Eles não lavram nem criam. Nem há aqui boi ou vaca, cabra, ovelha ou galinha, ou qualquer outro animal que esteja acostumado ao viver do homem. E não comem senão deste inhame, de que aqui há muito, e dessas sementes e frutos que a terra e as árvores de si deitam. E com isto andam tais e tão rijos e tão nédios que o não somos nós tanto, com quanto trigo e legumes comemos.⁴

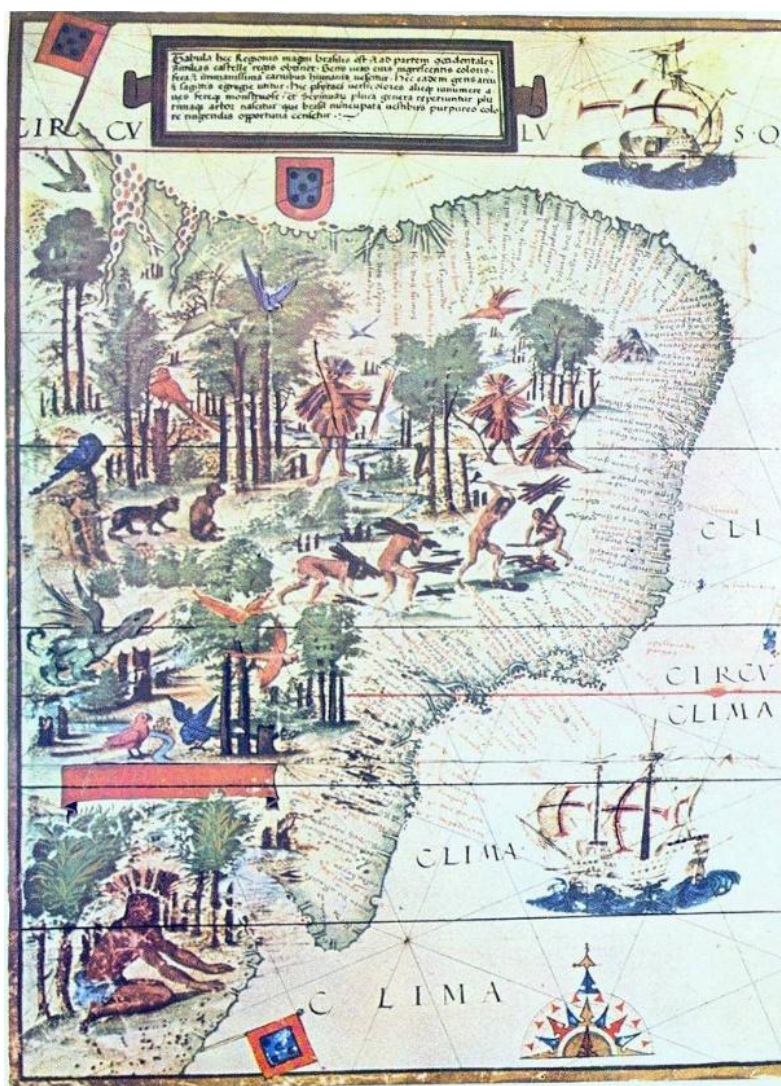
No século XVI, quando as embarcações lusitanas atracaram nas terras brasileiras, depararam-se com comunidades que viviam em profunda conexão com a natureza. Estes habitantes vivam através de uma relação íntima e respeitosa com a floresta. Para eles, a natureza era vista como um organismo vivo e sagrado, onde cada elemento desempenhava um papel fundamental no equilíbrio do ecossistema. Os povos originários reconhecem a interdependência entre todas as formas de vida, incluindo plantas, animais e seres humanos, e entendem que é seu dever preservar e proteger este delicado equilíbrio. A carta que Pero Vaz de Caminha enviou à coroa portuguesa relatava sua incompreensão acerca da maneira que os povos originários interagiam com o ambiente promovendo o bem-estar de todas as formas de vida, abrangendo também os animais que criavam em liberdade e dos quais se alimentavam.

Outra indagação relatada por Caminha se direcionava ao método, ou melhor, o desconhecido método de plantio dos povos recém encontrados. Sua agricultura era tão integrada aos processos naturais, que os portugueses não puderam perceber que a faziam. O “inhame” mencionado na citação acima nada mais era do que a mandioca, espécie nativa brasileira que fazia parte integral da alimentação dos povos indígenas, no entanto, esta planta obtida pelos indígenas através de processos seculares, jamais seria presente em tamanha quantidade sem práticas agrícolas eficazes. (NETO, STEENBOCK, *et al.*, 2016)

⁴ BRASIL. Ministério da Cultura. A carta de Pero Vaz de Caminha. Brasília: MEC

A figura 01 apresenta o mapa da Terra Brasilis, inserido no Atlas Miller de origem portuguesa, é atribuído a Lopo Homem, cartógrafo oficial do Reino nas primeiras décadas do século XVI. Foi confeccionado em torno de 1519, ainda durante o reinado de Dom Manuel, e atualmente é mantido na Biblioteca Nacional em Paris, França. Elaborado manualmente em pergaminho, apresenta uma extensa lista de nomes (um total de 146) identificando locais ao longo da costa brasileira, desde o Maranhão até a foz do rio da Prata. No seu interior, encontra-se ornamentado com representações de animais exóticos, vegetação e cenas que retratam atividades extrativas dos indígenas, destacando-se a exploração do pau-brasil. Através dos desenhos é possível entender a ótica que os portugueses tinham em relação as atividades realizadas pelos povos originários, representando sua harmonia com a floresta presente no país.

Figura 1: Mapas Terra Brasilis



Fonte: Enciclopédia Grandes Personagens da Nossa História, ed. Abril Cultural, São Paulo/SP, 1969

O modelo de plantio e colheita dos indígenas brasileiros replicava o próprio desenvolvimento natural da floresta, com o intuito de preservar o equilíbrio ambiental e entender as relações naturais entre as espécies nativas da região. Em *O Renascer da Agricultura* (1996) Ernst Götsch define suas iniciativas agroflorestais como tentativas de harmonizar as atividades agrícolas com os processos naturais dos seres vivos, a fim de produzir outros materiais orgânicos de alta qualidade, sem o uso de insumos como fertilizantes, pesticidas ou maquinário pesado, logo, a partir de semelhanças tão diretas com a maneira de produzir indígena, podemos afirmar que os princípios básicos agroflorestais já eram praticados pelos povos originários antes mesmo da chegada dos invasores europeus. Esta relação serve para demonstrar como sistemas agroflorestais não são uma inovação recente, e sua origem no Brasil remonta às práticas indígenas de cultivo e manejo da terra. A evolução dos SAFs no país pode ser dividida em três fases principais:

Fase 1 (pré-influência europeia): A prática de SAFs não é nova e já era utilizada por comunidades indígenas, caboclas e ribeirinhas, sobretudo para fins de subsistência e os europeus somente perceberam a sua importância muito tempo depois. Os indígenas brasileiros, por exemplo, além de controlarem a produção de mandioca também possuíam técnicas de transformar floresta nativa em castanhais e em aglomerações de pupunheiras. Os sistemas agroflorestais eram praticados por indígenas, utilizando espécies nativas e posteriormente exóticas, principalmente para a produção de alimentos e material para artesanato, simulando os aprendizados empíricos adquiridos com a análise do ciclo natural das florestas habitadas. (BARROS, *et al.*, 2009)

Fase 2 (início da influência europeia): Com a chegada dos europeus, as SAFs foram adaptadas para a produção de commodities agrícolas, como café e cacau, utilizando técnicas de cultivo e manejo introduzidas pelos europeus.

Fase 3 (após Revolução Verde): Atualmente, com a Revolução Verde desafiando os antigos sistemas de produção, as SAFs estão ganhando destaque, especialmente através de iniciativas colaborativas em rede. Observa-se uma expansão das SAFs nos biomas brasileiros, captando a atenção não apenas de agricultores e profissionais do campo, mas também de responsáveis pela formulação de políticas públicas. A crescente valorização desses sistemas levou ao surgimento, na última década, de diversas políticas públicas específicas voltadas para este âmbito como a criação da Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (PNATER), com foco no fomento a processos de

desenvolvimento rural sustentável, mediante a utilização de métodos participativos, com base nos princípios da agroecologia, onde os sistemas agroflorestais têm um papel importante. SAFs passaram a ser estudadas e promovidas como uma estratégia de desenvolvimento sustentável, com ênfase na conservação dos recursos naturais, diversificação produtiva e inclusão social. (MAY; TROVATTO, 2008)

Nas últimas décadas, os SAFs têm sido objeto de intensa pesquisa e desenvolvimento no Brasil, com o envolvimento de instituições de pesquisa, universidades, organizações não governamentais e produtores rurais. Esses esforços têm resultado na consolidação e difusão de diferentes tipos de sistemas agroflorestais, adaptados às condições e necessidades locais.

2.2. SAFs e a agricultura familiar

Antes de analisarmos exemplos bem sucedidos de SAFs em diferentes contextos brasileiros, precisamos entender sua forte conexão com a agricultura familiar e a relevância dessa classe de agricultores para o cenário atual do país.

O surgimento e a consolidação da agricultura familiar no Brasil são fenômenos relativamente recentes, resultado da interação de três fatores igualmente significativos. Em primeiro lugar, destaca-se o ressurgimento do papel do movimento sindical após o fim da ditadura militar. Em segundo plano, figura a influência dos mediadores e intelectuais, especialmente os cientistas sociais, que promoveram debates sobre o tema no início da década de 1990. Por fim, o terceiro elemento crucial está relacionado ao engajamento do Estado e à implementação de políticas públicas que passaram a reconhecer e promover ativamente esse setor, notadamente por meio da criação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF). ‘

Ainda segundo Schneider e Cassol (2013), podemos dividir a história recente da agricultura familiar brasileira em três fases:

Primeira fase - (re)descobrimiento da agricultura familiar: A fase do debate sobre a agricultura familiar no Brasil, que ocorreu de 1990 a meados de 1995, foi marcada pela afirmação política e acadêmica dessa categoria. Houve uma crise de legitimidade sindical na vertente majoritária representada pela Confederação Nacional dos Trabalhadores na Agricultura (CONTAG), devido à concorrência com movimentos sociais emergentes,

como o Movimento dos Trabalhadores Rurais sem Terra (MST). Isso levou a uma inédita aliança política entre a CONTAG e o Departamento dos Trabalhadores Rurais da Central Única dos Trabalhadores (CUT) em 1995.

Além disso, o movimento sindical associado à CONTAG apoiou o Governo de transição de Itamar Franco após o impeachment de Collor de Mello. Isso resultou na criação de uma Secretaria Especial para o Desenvolvimento Rural no Ministério da Agricultura, onde foram elaboradas as primeiras políticas para a agricultura familiar, incluindo o Programa de Valorização da Pequena Produção Rural (PROVAPE), precursor do atual PRONAF, estabelecido em 1996.

Nessa mesma fase, houve uma consolidação da categoria "agricultura familiar" entre os estudiosos acadêmicos, com diversos estudos e pesquisas que deslocaram teoricamente o entendimento desse conceito. Autores como Veiga (1991), Abramovay (1992) e a coletânea organizada por Lamarche (1993, 1994) influenciaram significativamente o debate político da época. O relatório da consultoria conhecido como projeto FAO/INCRA em 1994 classificou os estabelecimentos rurais brasileiros e sugeriu uma tipologia que diferenciou a agricultura familiar da patronal, contribuindo para o reconhecimento teórico e político desse setor. Essa fase também incentivou estudos que mediram o tamanho e a importância da agricultura familiar no Brasil com base no Censo Agropecuário.

Segunda fase – institucionalização do setor: A segunda fase da agricultura familiar no Brasil abrangeu o período de 1996 a 2006 e foi marcada pela institucionalização desse setor com a promulgação da Lei 11.326 em julho de 2006. Durante esse período, a agricultura familiar consolidou-se como a categoria social que mais atraiu programas e políticas de desenvolvimento rural, com destaque para o PRONAF, criado em 1996. (Decreto nº 1.946) com quatro modalidades que são o financiamento da produção, financiamento de infraestrutura e serviços municipais, capacitação e qualificação dos agricultores familiares e financiamento da pesquisa e extensão rural (MATTEI, 2011)

O PRONAF passou por ajustes ao longo dos anos, incluindo a estratificação dos agricultores familiares em grupos de acordo com a renda bruta anual, feita em 1999.

A partir de 2003, com a chegada de Luiz Inácio Lula da Silva à presidência, o PRONAF foi incorporado ao Programa Fome Zero e passou por sucessivas expansões, com aumento de recursos e a criação de novas modalidades. Entre 2002/03 e 2011/12, o PRONAF recebeu um total de cerca de R\$ 82 bilhões. Além do PRONAF, outros

programas e políticas para a agricultura familiar foram criados ou reformulados, como o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) em 2004 e o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE).

A afirmação institucional de maior alcance que a agricultura familiar obteve neste período foi a Lei da Agricultura Familiar, promulgada em 2006, que ainda se encontra em vigor, (DEL GROSSI; MARQUES, 2011) que definiu os critérios para classificação de agricultores familiares e empreendedores familiares rurais, levando a um levantamento estatístico detalhado por meio do Censo Agropecuário de 2006. Caracterizando como agricultor familiar ou empreendedor familiar rural aquele que atende, simultaneamente, aos seguintes requisitos: não detenha mais que quatro módulos fiscais, utilize predominantemente mão de obra de sua própria família em suas atividades econômicas, tenha renda familiar predominantemente de atividades econômicas vinculadas ao próprio estabelecimento e dirija o seu estabelecimento com a família (BRASIL, 2006). Esse levantamento permitiu um conhecimento mais profundo e preciso das características das unidades familiares na agricultura brasileira.

Terceira fase – A atual disputa por narrativas: A terceira fase do debate sobre agricultura familiar no Brasil teve início com a divulgação do Caderno Especial do Censo Agropecuário de 2006, em setembro de 2009. Isso desencadeou um intenso debate sobre o papel da agricultura familiar no desenvolvimento rural do país. Dois principais pontos de vista emergiram: por um lado, a Confederação Nacional da Agricultura (CNA) argumentou que muitos agricultores familiares beneficiados pelo PRONAF apresentavam baixo valor de produção agrícola, questionando a viabilidade econômica do crédito. Por outro lado, defensores das políticas para a agricultura familiar e reforma agrária mobilizaram-se em resposta a esses questionamentos. (DEL GROSSI E MARQUES, 2009; MATTEI, 2011; SCHNEIDER; CASSOL, 2013)

O atual debate sobre agricultura familiar no Brasil pode ser resumido ao confronto daqueles que argumentam a favor da importância e relevância desse setor no desenvolvimento rural com os que afirmam que, dada a alta tecnologia necessária na agricultura moderna (também conhecida como agronegócio), essas unidades não poderiam prosperar em condições socialmente aceitáveis. (SCHNEIDER; CASSOL, 2013)

No contexto citado, o Brasil se encontra em momento estratégico para definir suas prioridades e direcionamentos para o futuro, ainda que existam linhas de pensamentos divergentes, a realidade do campo brasileiro representada pelo Censo de 2017 é de que o país possui um total de 5.073.324 estabelecimentos agropecuários no Brasil, sendo 3.897.408 (76,8% do total) classificados como agricultura familiar, considerando os seguintes critérios previstos na Lei nº 11.326, de 2006 e no Decreto nº 9.064, de 2017: o limite do tamanho da área do estabelecimento agropecuário, medido em módulos fiscais⁵; a predominância da força de trabalho familiar no processo produtivo e da geração da renda; a fonte da renda familiar oriunda das atividades econômicas realizadas no estabelecimento ou empreendimento; e a gestão do estabelecimento ser de responsabilidade estritamente familiar. (SILVA; NUNES, 2023)

Os dados apresentados pelo Censo Agropecuário 2017, expostos no capítulo de introdução deste trabalho, reafirmam o tamanho e relevância dessa atividade no contexto brasileiro, aliado a isso analisamos a capacidade da agricultura familiar em produzir de maneira diversificada, o que assegura a alimentação adequada e desempenha um papel fundamental no suprimento alimentar das áreas urbanas e rurais no Brasil. Conforme a demanda por alimentos saudáveis e sustentáveis cresce no mercado, surgem ainda mais oportunidades para esses agricultores. (ABDO, et al., 2009)

Por outro lado, a crise resultante do modelo convencional de desenvolvimento e agricultura, baseado na monocultura e nos pacotes tecnológicos da Revolução Verde, tem causado impactos econômicos, sociais e ambientais, tornando a agricultura insustentável. Isso tem levado a mudanças de paradigma em direção a estilos de agricultura baseados nos princípios da Agroecologia e do desenvolvimento rural sustentável. (MAY; TROVATTO, 2008)

Nesse contexto, os agricultores familiares estão cada vez mais buscando alternativas que sejam compatíveis com a diversidade dos ecossistemas locais e com os sistemas

⁵ O conceito de "módulos fiscais" está relacionado à legislação agrária e serve como uma unidade de medida para determinar o tamanho e a produtividade de uma propriedade rural no Brasil. Um módulo fiscal é uma unidade padronizada que varia de acordo com a região do país e é definida pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) com base em critérios técnicos e econômicos.

O módulo fiscal é importante para questões legais e administrativas, como a regularização fundiária, o dimensionamento de propriedades rurais e a aplicação de políticas públicas voltadas para o setor agrícola. Ele serve como referência para determinar a viabilidade econômica de uma propriedade, considerando fatores como o tipo de cultura ou criação praticada na área.

culturais, levando em consideração as dimensões econômicas, ambientais e socioculturais da sustentabilidade.

Portanto, neste cenário, vemos a importância das diversas políticas públicas já citadas que visam proteger e auxiliar a agricultura familiar. Corroborando com a pesquisa e demonstrando a atualidade e importância do tema vemos o Ministério do Desenvolvimento Agrário, por meio da Secretaria da Agricultura Familiar e Agroecologia, empenhado em contribuir para a elaboração, implementação e avaliação de políticas que ampliem esse horizonte. Dessa forma, o governo federal tem buscado valorizar os produtos e serviços da agricultura familiar, melhorando a renda e a qualidade de vida das pessoas que vivem no campo e aumentando a disponibilidade de alimentos saudáveis para os consumidores urbanos. (MAY; TROVATTO, 2008)

Com esse objetivo, a Secretaria da Agricultura Familiar e Agroecologia baseia suas ações, políticas e programas em quatro grandes pilares: a sustentabilidade dos sistemas de produção, o combate à pobreza rural, a segurança alimentar e a geração de renda e valorização dos produtos da agricultura familiar. Tendo como competências os seguintes temas: Propor diretrizes e avaliar as políticas para o desenvolvimento da agricultura familiar; Planejar, coordenar, supervisionar, promover, monitorar e avaliar as atividades relativas à política de desenvolvimento da agricultura familiar; Planejar, coordenar e articular ações necessárias à implantação e ao aperfeiçoamento do Cadastro Nacional da Agricultura Familiar; Supervisionar a execução de programas e ações nas áreas de fomento ao desenvolvimento dos agricultores familiares; Propor, apoiar e participar de programas de pesquisa e inovação agropecuária, assistência técnica e extensão rural, crédito, garantia de preços, capacitação e profissionalização voltados a agricultores familiares; Promover a elevação do nível de profissionalização de agricultores familiares, propiciando-lhes novos padrões tecnológicos e de gestão; Promover a articulação das ações voltadas ao desenvolvimento rural no âmbito da agricultura familiar e buscar sua execução descentralizada e integrada com Estados, Distrito Federal, Municípios e sociedade civil organizada; Incentivar e fomentar ações voltadas à criação de ocupações produtivas agrícolas e não agrícolas geradoras de renda; Manter articulação com programas sociais do Poder Executivo federal, integrando-os às ações dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a promoção do fortalecimento da agricultura familiar; Promover a participação das agricultoras e agricultores familiares ou de seus representantes em colegiados voltados ao desenvolvimento rural sustentável; Apoiar

iniciativas de Estados, Distrito Federal e Municípios que visem ao desenvolvimento rural com base no fortalecimento da agricultura familiar; Integrar, coordenar e promover a agroecologia e a produção orgânica para fortalecer a transição agroecológica e a transversalidade nas diversas políticas, programas e ações no âmbito do Ministério e nas relações interministeriais; Incentivar e fomentar as políticas de financiamento e proteção da produção da agricultura familiar.

Diante dos obstáculos mencionados, a Secretaria da Agricultura Familiar e Agroecologia, em conformidade com os princípios da Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural, reconhece e respalda a implementação de diversas formas de sistemas de produção sustentáveis. Especificamente, destaca-se o apoio aos Sistemas Agroflorestais desenvolvidos pelos agricultores familiares, levando em consideração as particularidades locais dos diversos biomas brasileiros. Nesse contexto, torna-se cada vez mais evidente que há um acúmulo de conhecimentos com um enorme potencial de replicação para um número maior de agricultores. Isso pode ser alcançado por meio do intercâmbio de conhecimentos entre os próprios agricultores e com a ajuda dos Agentes de Assistência Técnica e Extensão Rural. Portanto, a sistematização e a compartilhamento desses conhecimentos se tornam de extrema importância para o progresso e desenvolvimento agrícola sustentável. (MAY; TROVATTO, 2008)

Uma das medidas significativas tomadas pela secretaria foi a criação do manual agroflorestal da mata atlântica, cujo conteúdo visa contribuir para o desenvolvimento e ampliação dessa prática entre as famílias agricultoras, na expectativa de ajudar a tornar mais fértil os solos, os campos e florestas brasileiras, estimulando que mais agricultores familiares e técnicos participem de iniciativas produtivas. inovadoras, como as SAF's, para que todos os brasileiros possam colher, juntos, os frutos do rural brasileiro, com respeito ao meio ambiente, com mais justiça social e com geração de renda para aqueles vivem e trabalham na agricultura familiar.

O investimento em estudos e projetos que estimulem a implementação de Sistemas Agroflorestais se devem por serem uma excelente alternativa para agricultores de pequena escala, tão importantes para o cenário brasileiro, contribuindo para o equilíbrio ecológico das propriedades, especialmente nas que se enquadram na agricultura familiar. Ao adotar as SAFs, uma série de benefícios se tornam evidentes. Isso inclui a diversificação das espécies utilizadas nos plantios, o que melhora a produtividade da terra e otimiza o uso dos recursos naturais, desde que adaptados às condições locais.

A variedade de culturas resulta em melhorias notáveis nas características físicas, químicas e biológicas do solo, graças à reciclagem de nutrientes e ao controle da erosão e além disso, os SAFs protegem o solo contra os efeitos erosivos das gotas de chuva e contribuem para reduzir as variações extremas de temperatura e umidade, o que pode até mesmo proteger as culturas contra geadas em áreas mais frias. A utilização de diferentes espécies e estratos possibilita o cultivo de plantas que se beneficiam do sombreamento, como cacau, café, cupuaçu e palmito.

Do ponto de vista econômico, a diversificação da produção em diferentes épocas do ano pode reduzir os riscos financeiros, melhorar a distribuição temporal e proporcionar maior conforto no trabalho. Para que o cenário de sucesso seja alcançado, é importante que o agricultor ajuste as culturas de acordo com sua capacidade de investimento, interação entre espécies e condições locais de solo e clima, bem como considere aspectos favoráveis à comercialização. (ABDO, et al.,2009)

Através desta contextualização podemos perceber a relevância da agricultura familiar para o Brasil e como que as SAFs podem ajudar a potencializar os plantios produzidos por esta classe de agricultores, se mostrando como uma importante ferramenta para auxílio no desenvolvimento de grande parte dos estabelecimentos agropecuários brasileiros.

2.3. Os princípios básicos das SAFs

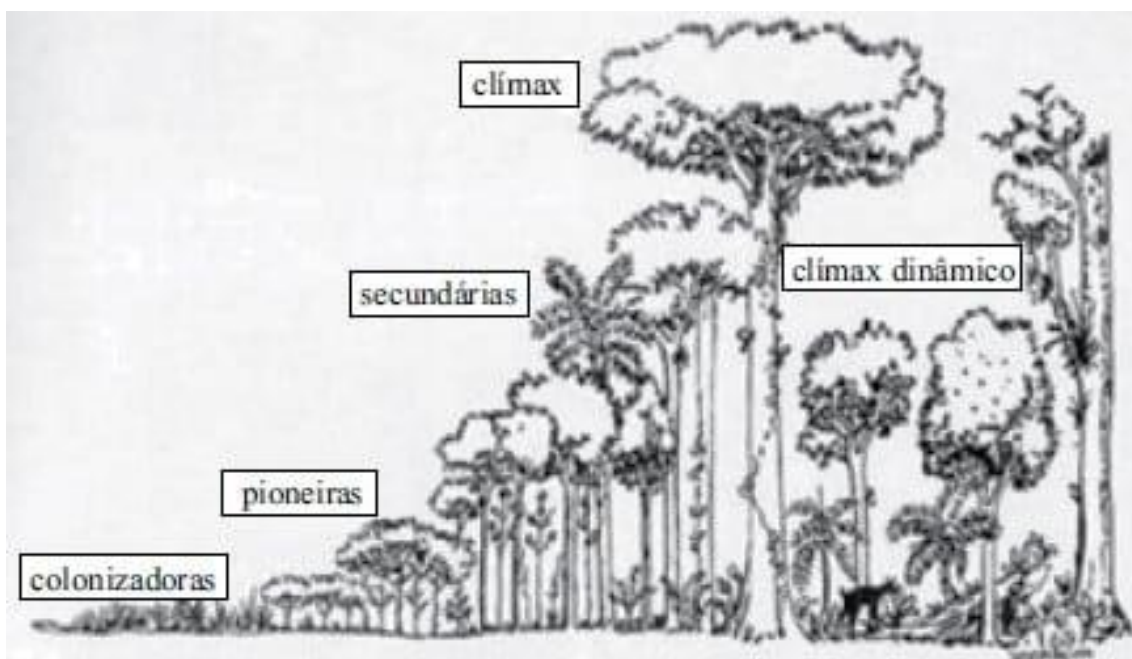
O objetivo das SAFs é encontrar as condições em que cada planta se desenvolve melhor e aproximar nossos sistemas agrícolas do ecossistema natural do local. A partir deste contexto, podemos agora entender mais a fundo como, de fato, funciona o princípio de sucessão natural que serve como base para implementação das SAFs, os conceitos abordados a seguir foram retirados da obra *Breakthrough in Agriculture*”(1995) de Ernst Götsch e de outras publicações de pesquisadores que dedicam seus estudos no conceito criado por Götsch.

Como já mencionado anteriormente, as SAFs usam a própria dinâmica florestal como exemplo de desenvolvimento das espécies. No interior das áreas abertas nas florestas (clareiras), é comum encontrar uma abundância de sementes no solo. Isso ocorre porque as plantas têm a estratégia de produzir e dispersar uma grande quantidade de

sementes, adaptadas a diferentes tipos de ambientes, aguardando uma oportunidade para germinar. Portanto, quando uma clareira surge, o solo carrega consigo a herança da diversidade de árvores que existiam anteriormente naquele local.

Dentro do conceito das SAFs é possível dividirmos as espécies que compõe o sistema em quatro grandes tipos. As colonizadoras, pioneiras, secundárias e clímax, as quatro tendem a crescer juntas, embora em velocidades diferentes, por isto fazem parte de um mesmo “Sistema Ecológico”. As colonizadoras têm vida muito curta e têm a função de servir como uma espécie de placenta protetora, pois quando a floresta renasce, as árvores ainda são frágeis. Sob sua proteção, as pioneiras crescem mais depressa que as secundárias e estas que as climáticas. Entre as secundárias, existem as secundárias iniciais, que crescem mais depressa e tem vida mais curta do que as secundárias médias e estas que as secundárias tardias. A placenta ou colonizadoras, vão criando as condições que as pioneiras precisam, as pioneiras para as secundárias e estas para as climáticas, que são as que crescem mais lentamente e tem vida mais longa. Em cada degrau do caminho da sucessão natural, a floresta como um todo também cresce passando do estágio inicial para os estágios médios e depois para o estágio mais avançado, chamado de clímax. (NETO, STEENBOCK, *et al.*,2016). A figura 2 demonstra uma representação esquemática da sucessão ecológica e a divisão entre os tipos de vegetação classificados no sistema:

Figura 2 - Classificação Sucessional de espécies



Fonte: <http://www.ceplac.gov.br>

O clímax dinâmico representado na imagem, demonstra a fase de amadurecimento do sistema onde podem ser encontradas espécies pertencentes a todos os tipos de classificação definida.

Os sistemas que se sucedem são diferentes em cada bioma e cada nicho ecológico, incluindo particularidades de clima, relevo e solo. Mesmo assim, a sucessão tem características comuns, que não dependem dos biomas nos quais ocorre. As florestas são um conjunto de diversos “sistemas ecológicos”. Em cada pequena parte de uma floresta, ocorreu diferente quantidade de renovações. Em cada lugar a sucessão natural teve diferentes velocidades de evolução, dependendo de vários fatores, como manchas de solo, microclima, relevo e outras particularidades.

Ernst Götsch (1995) diferenciou e identificou alguns desses sistemas ecológicos de acordo com as condições do solo implantado. Em solos muito degradados são indicados sistemas de lignina⁶ compostos por colonizadoras, pioneiras, secundárias e climácicas que ocorrem quando as condições ainda estão muito degradadas. Nestes sistemas, os teores de nitrogênio são mínimos e os de substâncias de difícil decomposição como as ligninas são máximos. Nos sistemas de lignina, grande parte da matéria orgânica produzida pela vegetação é acumulada na forma de diversos compostos, que incluem o húmus. Este, assim como outros componentes da matéria orgânica, tem funções de grande importância. Na figura 3, podemos ver a partir do alto à esquerda: Guanxuma, Carqueja e Sapé vegetações pertencentes a classe das colonizadoras. Na sequência: Assa-peixe, Bracatinga e Embaúba-branca, árvores da classe das pioneiras. O relevante ao se analisar essas espécies é constatar que todas são típicas de sistemas relativamente no início da escalada de sucessão vegetal. Depois da recuperação do solo será possível o plantio de espécies pertencentes a outros tipos de sistema.

⁶ A lignina é um polímero natural de difícil decomposição presente em plantas terrestres, principalmente, nas gimnospermas e angiospermas. Acredita-se que ela tenha desempenhado um papel importante na evolução das plantas. Isso porque ela também é um dos principais componentes da madeira, responsável por conferir rigidez e sustentação mecânica.

Figura 3 - Exemplos de espécies presentes em sistemas de lignina



Fonte: Neto, Steenbock, et al., (2016)

Os sistemas que se seguem aos de lignina, foram nomeados por Ernst como sistemas de acumulação, os teores de nitrogênio e de lignina na vegetação são intermediários, porque a vida já se estruturou o suficiente para que aumentos moderados na respiração resultem em aumentos ainda maiores da fotossíntese, levando ao máximo o acúmulo de matéria orgânica. É durante esta fase que esse acúmulo ocorre com maior velocidade.

Por fim, Ernest caracterizou como sistemas de abundância os sistemas que se sucedem aos de acumulação. Os teores de nitrogênio na vegetação e também a velocidade da fotossíntese se aproximam do máximo possível. Os lugares nos quais predominam os sistemas de abundância, chegaram a esta condição, em grande parte, porque passaram por muitos processos de renovação. Há lugares, geralmente nas margens de rios apertados por montanhas, nos quais a passagem de eventuais ventanias derruba as árvores velhas, que já cumpriram sua função, acelerando os processos de renovação. As madeiras são mais

moles e quebram galhos com maior facilidade, favorecendo ainda mais a ocorrência de eventos de renovação.

Na evolução de um organismo florestal, na maioria das vezes não há apenas um sistema que domine em toda a região ocupada pela floresta, portanto existem trechos onde predomina o sistema de lignina, outros onde predomina os sistemas intermediários e lugares onde predominam os sistemas de abundância, independente do sistema, o organismo florestal preza sempre pela renovação constante.

Outro conceito elementar na prática das SAFs é o conceito de estratificação em andares na sucessão natural. A estratificação é um processo que ocorre ao mesmo tempo que a sucessão, no qual os organismos florestais se estruturam em andares, em cada fase e em cada degrau da sucessão natural, para que todos os pertencentes àquele conjunto possam captar luz solar suficiente para realização da fotossíntese. O estrato de uma planta é o andar que sua copa ocupa no organismo florestal no qual se origina, quando o organismo florestal atinge a fase da sucessão vegetal a que ela pertence. Por exemplo, se uma árvore é do estrato alto e do estágio clímax, ela ocupará, no organismo florestal da qual se origina, o andar alto, quando a sucessão da floresta atingir o estágio clímax. Se a árvore for uma secundária do estrato médio, ela ocupará o andar médio, quando o organismo florestal atingir o estágio secundário da sucessão natural. (NETO, STEENBOCK, et al.,2016) A figura 4 demonstra os estratos agroflorestais:

Figura 4 - Estratos de uma Agrofloresta



Fonte: Miccolis, et al. (2016)

Também é importante considerar que existem ecossistemas mais altos e mais baixos. Isto acontece devido às diferentes restrições ao crescimento das árvores, principalmente por causa do clima e/ou do solo de onde se originam. É natural que árvores do estrato alto de florestas baixas sejam mais baixas do que árvores de estratos inferiores, de florestas muito altas. Para dar um exemplo envolvendo espécies mais conhecidas, podemos citar o caso da acerola e do abacateiro. A acerola é uma árvore do estrato alto, porque ocupa o estrato alto em seu ecossistema de origem. Já o abacateiro é do estrato médio, porque ocupa o estrato médio em seu ecossistema de origem. Porém, geralmente o pé de acerola cresce menos do que o abacateiro. Isto porque toda a floresta na qual se originou a acerola cresce menos do que toda a floresta na qual se originou o abacateiro. No entanto, uma acerola nunca será produtiva se estiver debaixo de árvores de estratos mais baixos que o dela, como no caso do abacateiro. (NETO, STEENBOCK, et al., 2016)

Além destas classificações elementares realizadas por Götsch (1995), se mostram importantes também outras classificações e conceitos relevantes dentro de um sistema agroflorestal. De acordo com o “manual agroflorestal da mata atlântica” o presente trabalho destacará critérios classificativos importantes para o entendimento básico da uma estrutura de uma SAF.

A primeira categorização relevante abordada vai de acordo com aspectos funcionais e estruturais como base para agrupar estes sistemas em três categorias:

Sistemas silviagrícolas: são caracterizados pela combinação de árvores, arbustos ou palmeiras com espécies agrícolas. Por exemplo: o consórcio “café-ingá-louro pardo” ou “pupunha-cupuaçu-castanheira”.

Sistemas silvipastoris: são caracterizados pela combinação de árvores, arbustos ou palmeiras com plantas forrageiras herbáceas e animais.

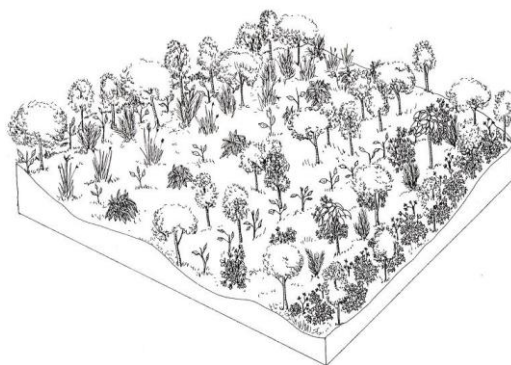
Sistemas agrossilvipastoris: são caracterizados pela criação e manejo de animais em consórcios silviagrícolas, por exemplo: criação de porcos em agroflorestas ou, ainda: um quintal com frutíferas, hortaliças e galinhas.

Também podemos classificar as SAF's de acordo com a distribuição espacial de suas espécies. Dependendo de questões individuais referentes ao tipo de relevo, solo, objetivos, colheita e consórcios entre espécies é possível distribuir a plantação de diversas maneiras, a figura 5 representa os modelos possíveis de organização do sistema:

Figura 5- Distribuições espaciais de SAF's



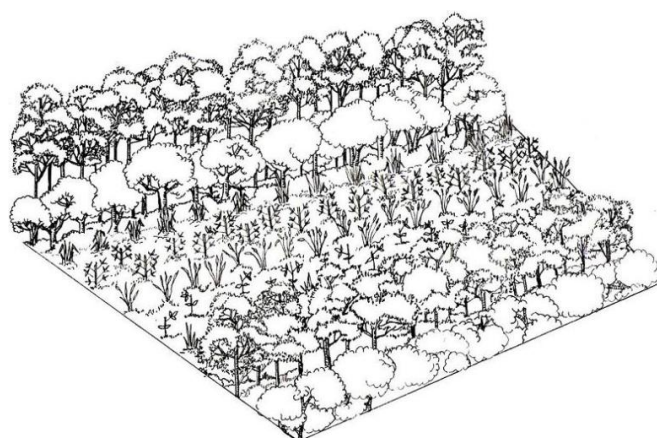
(a) distribuição espacial irregular



(b) distribuição espacial uniforme:



(c) distribuição espacial mista



(e) distribuição espacial em faixas

Fonte: Adaptado de May; Trovatto, (2008)

Se torna importante também, a classificação das espécies cultivadas no sistema em dois grupos distintos, diferenciados por seus objetivos dentro da plantação, são caracterizadas como espécies de serviço e espécies prioritárias, onde:

Prioritárias: Desempenham um papel crucial no sustento e segurança alimentar das famílias agricultoras, além de contribuir para a geração de renda por meio do beneficiamento e comercialização. São divididas de acordo com seus ciclos de colheita entre anuais, persistentes e perenes. Em relação as espécies anuais podemos destacar o arroz, feijão, milho, mandioca e hortaliças. Já as persistentes podem incluir bananeiras, gengibre, araruta e pacová. Por fim, as espécies perenes, como cacau, café, diversas frutíferas, erva-mate, espécies madeiráveis, algumas plantas medicinais e bambus. Todas as prioritárias desempenham um papel fundamental na subsistência e economia das comunidades agrícolas e considerando a necessidade de segurança alimentar e a geração de renda dos agricultores familiares, é indispensável incluir como componentes da SAF espécies com capacidade de gerar ingressos no curto, médio e longo prazo.

Serviço: São espécies funcionais na prestação de serviços principalmente em termos de sustentabilidade ambiental do sistema produtivo, com efeitos no sistema produtivo, na conservação do solo e da água, no melhoramento da fertilidade, no aumento das atividades biológicas do solo, na melhoria das condições de micro-clima às plantas e, por fim, no controle biológico de pragas e doenças. São divididas de acordo com suas funções de adubação, repelentes e indicadoras. As repelentes ajudam a controlar determinadas pragas e, eventualmente, as doenças das espécies prioritárias; entre elas: o ním, o cravo-do-defunto, o gengibre. As adubadoras tem seu uso feito mediante a incorporação de plantas de cobertura viva, antes das mesmas apresentarem sementes maduras, com o objetivo de fixação de nitrogênio ao solo, alguns exemplos de adubadoras são a aveia-preta, o xique-xique, o girassol, trevos e a ervilhaca-peluda. Por último temos as espécies indicadoras que podem ajudar o agricultor a tomar decisões em função das características físico-química do solo, alguns exemplos são plantas como a Azedinha em que sua presença pode indicar que o solo argiloso se encontra muito ácido, ou a Beldroega que indica que o solo está fértil, a Leiteira que indica a falta de micronutrientes como molibdênio e cobre, ou também os Carrapichos que indicam um solo degradado e muito compactado. Existem outros exemplos de indicadores que vão demonstrar outras características importantes para plantação, o uso desses indicadores são de grande valia

para o pequeno produtor rural que não tem acesso a outros métodos mais tecnológicos e caros que o auxiliaram no controle de sua colheita.

No sistema agroflorestal toda a espécie pertencente possui papel relevante, a nomenclatura de prioritárias e de serviço são apenas ferramenta para catálogo e entendimento destas funções, é possível inclusive realizarmos uma análise crítica já que dentro do sistema não existe ordem de importância.

Existe também a classificação de certas práticas agroflorestais que visam o aumento da produtividade do sistema, seguem alguns exemplos:

Cercas vivas: Além de seu propósito primário, as cercas vivas têm o potencial de servir como habitats para aves, promovendo efeitos positivos no controle biológico de insetos. Cercas vivas densas também desempenham um papel crucial na redução dos danos causados pelo vento, ao mesmo tempo em que impedem a passagem de animais e pessoas. Um exemplo comum em propriedades rurais são as cercas vivas compactas formadas por Pupunhas, palmeiras que também podem servir de alimento e renda para a plantação.

Quebra-vento: O vento desempenha um papel crucial na produtividade das culturas, influenciando a evapotranspiração e a disseminação de patógenos. Para mitigar esses efeitos, o uso de quebra-ventos é essencial. Um quebra-vento eficaz é composto por várias fileiras de árvores. Na face exposta ao vento predominante, a primeira linha é plantada com arbustos ou árvores de porte médio. As linhas subsequentes podem ser preenchidas com árvores nativas de porte mais elevado e na linha mais próxima à área cultivada, são plantados novamente arbustos ou árvores de porte médio. Essa disposição estratégica contribui significativamente para a proteção das culturas contra os efeitos adversos do vento.

Árvores plantadas em linha para demarcação de limites: Esses demarcadores naturais, além da função espacial podem também desempenhar um papel essencial no aumento da receita familiar e na ampliação da variedade alimentar. No que diz respeito às árvores destinadas à produção de madeira comercial, a madeira resultante da colheita pode ser utilizada na própria propriedade ou comercializada. Além disso, tais plantios enriquecem as vistas rurais, atraindo aves e servindo como fonte de néctar para a produção de mel.

Para manter o crescimento saudável mantendo as propriedades da SAF, é necessário que o pequeno agricultor realize alguns tratos culturais que diferem ligeiramente das técnicas tradicionais empregadas. Capinas e podas são essenciais para o desenvolvimento do sistema.

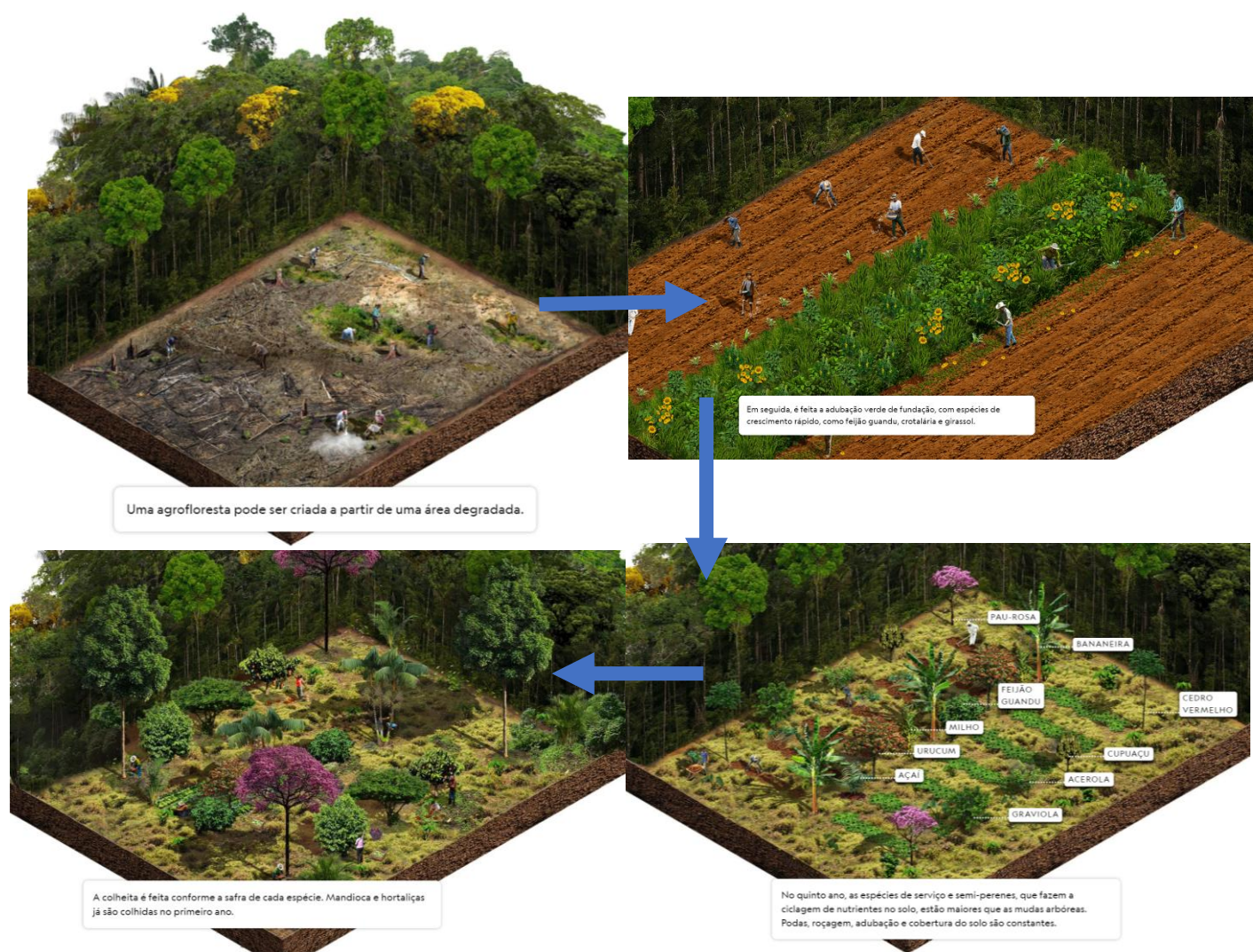
Em relação as capinas, podemos destacar sua importância na implantação de agroflorestas, principalmente nos primeiros 18 a 24 meses. Após o estabelecimento da cobertura viva ou morta, a necessidade de capina diminui significativamente. É crucial evitar capinas radicais, que deixam o solo exposto, pois isso prejudica a produtividade e pode levar à perda de matéria orgânica e erosão. Quando necessárias, as capinas devem ser feitas de forma seletiva, removendo plantas concorrentes que estão no fim de seu ciclo produtivo, contribuindo para a produção de matéria orgânica na fase inicial do desenvolvimento da agrofloresta.

Em contrapartida, os processos de renovação que levam à formação dos sistemas de abundância podem ser muito intensificados através de podas. A poda é uma prática crucial nas agroflorestas e depende de vários fatores, como o crescimento da planta, a qualidade do fuste e a facilidade na colheita para garantir o máximo rendimento econômico. Existem diferentes tipos de poda, cada uma com objetivos específicos. A poda de formação direciona o desenvolvimento do caule em plantas jovens para garantir a formação de um fuste de alta qualidade. A poda de limpeza visa eliminar rebentos laterais indesejados, galhos velhos ou secos. A poda de produção é feita regularmente em plantas perenes para aumentar a produtividade, removendo ramos improdutivos. A desbrota e a recepa são práticas específicas para espécies perenes, enquanto o decote e o rebaixamento são cortes realizados a diferentes alturas do caule. A técnica de corte varia de acordo com o tipo de poda, visando a preservação da planta e o máximo aproveitamento dos recursos.

Todas os conceitos, classificações e técnicas, apresentadas aqui visam auxiliar a compreensão básica de sistemas agroflorestais modernos, entender sua dinâmica e seu processo de amadurecimento é fundamental para analisarmos todas suas potencialidades e possibilidades. O sistema cresce e evolui de maneira orgânica, onde todas as espécies presentes na plantação contribuem de alguma forma para o conjunto. Os ciclos de colheita serão sempre diversificados, possibilitando a extração de diferentes produtos de acordo com a idade da plantação. A figura 6 demonstra um exemplo de implementação de uma SAF no bioma amazônico em ambiente degradado. Através do infográfico podemos

dividir seus ciclos de acordo com sua produção. Onde em um primeiro momento seria trabalhado a recuperação inicial do solo, intensificando o uso de vegetações colonizadoras como girassóis e gramíneas. No segundo ciclo de 1 a 5 anos as espécies de serviço e semi-perenes estariam em fase madura, se fazendo possível a poda e a colheita de bambus e de palmeiras, em seguida, entre 5 e 10 anos já seria possível a colheita das vegetações frutíferas e também a retirada de espécies arbóreas lenhosas visando fins madeireiros e, por fim, após 10 anos a SAF entraria em sua fase de pico produtivo chegando a níveis de abundância e multiplicidade de colheitas.

Figura 6 - Infográfico de desenvolvimento de SAF na Amazônia



Fonte: Adaptado de www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/amazonia/infografico-como-funciona-agrofloresta

Os conceitos apresentados neste capítulo demonstram técnicas agrícolas contemporâneas, porém, é notável que os princípios básicos das SAFs replicam, de certo modo, as condições e consórcios que já existem entre as espécies no ambiental natural florestal. A identificação e a reprodução da dinâmica florestal possibilitou que os povos originários deixassem um legado de solos de imensa fertilidade e SAFs de majestosa biodiversidade. Estes eram tão integrados aos processos naturais, que os portugueses não puderam compreender que as “florestas virgens” que viam por todo o canto, eram na realidade SAFs manejados pelos povos indígenas, com isso voltamos ao primeiro parágrafo deste capítulo, entendendo melhor o porque as terras brasileiras eram tão férteis aos olhos dos portugueses e também entender como existia a presença da mandioca em vários locais diferentes dentro das terras indígenas.

2.4. Exemplos de SAFs no cenário brasileiro.

Nesta etapa serão apresentadas algumas iniciativas de SAF's de sucesso em diferentes exemplos situados em território brasileiro e internacional, afim de auxiliar a compreensão dos seus diferentes objetivos e resultados. O ponto de partida será a já citada Fazenda Olhos D'Água, as informações contidas no texto a seguir referentes a experiência, foram relatadas por Ernst em seu livro *Breakthrough in Agriculture*(1995):

Sistemas Agroflorestais do município de Pirai do Norte – Mata Atlântica

No Brasil, podemos destacar a obra tanto teórica como prática de Ernst Götsch, como importante contribuição para difundir o tema e analisar aplicações práticas. Götsch é um agricultor e pesquisador suíço que, desde os anos 80, tem desenvolvido técnicas agroflorestais inovadoras no Brasil. Götsch é conhecido por sua abordagem agroecológica e seu trabalho de regeneração de solos e paisagens através de sistemas agroflorestais. Suas experiências práticas em plantações na Costa Rica e Brasil, mais precisamente na região sul do estado da Bahia. Demonstram o desenvolvimento de uma abordagem agroflorestal inovadora, que combina elementos da agroecologia, da permacultura e da sucessão ecológica.

Götsch chega ao Brasil em 1982, e desde então tem trabalhado no desenvolvimento de sistemas agroflorestais inovadores. Ele fundou a fazenda Olhos D'Água, em Piraí do Norte, Bahia, onde desenvolveu sua abordagem agroflorestal e tem servido como modelo para outros agricultores e pesquisadores.

A Fazenda Olhos D'Água é um exemplo de como os sistemas agroflorestais podem ser utilizados para produzir alimentos de forma sustentável. Götsch utiliza uma grande variedade de espécies vegetais em seus sistemas agroflorestais, incluindo árvores frutíferas, arbustos, plantas herbáceas e trepadeiras.

Além de sua abordagem agroflorestal, Götsch também tem trabalhado no desenvolvimento de tecnologias sociais, que permitem a difusão de suas técnicas agroecológicas entre agricultores familiares e pequenos produtores rurais. Ele tem desenvolvido técnicas de capacitação e formação de agricultores, que permitem a disseminação de suas técnicas agroecológicas.

A Fazenda Olhos D'Água situada no sul do Estado da Bahia, região em que a vegetação original era mata atlântica, mas que ao longo do tempo foi bastante alterada pela extração de madeira e pela agricultura itinerante, um de seus objetivos principais era a recuperação de solo, o local foi escolhido por ter solo classificado como “pobre” e também por ainda possuir remanescentes da mata atlântica na região. O solo foi totalmente exaurido pelos antigos produtores do local, pequenos agricultores que criavam porcos nas baixadas e cultivavam mandioca nas encostas dos morros, havendo também vastas áreas de pastos abandonadas. Ao longo dos anos sua produtividade se tornou decrescente e acreditando que seu solo não poderia ser recuperado, os agricultores da região abandonaram o terreno.

Os resultados obtidos nesse empreendimento são notáveis. Por meio de suas técnicas agroflorestais, Götsch conseguiu transformar áreas degradadas em sistemas altamente produtivos e sustentáveis. Observou-se um notável aumento na biodiversidade, com a reintrodução de diversas espécies vegetais e animais nativos. A combinação de árvores frutíferas, madeiras e cultivos agrícolas proporciona uma diversidade de produtos, contribuindo para a segurança alimentar e a geração de renda. Além disso, as práticas de Ernst Götsch têm se mostrado eficazes na regeneração do solo, promovendo sua fertilidade e capacidade de retenção de água.

Outro aspecto significativo é a resiliência do sistema agroflorestal de Götsch diante de condições climáticas adversas, como secas e chuvas intensas. A combinação de diferentes camadas de vegetação e a presença de árvores de crescimento rápido ajudam a proteger o solo e as culturas, minimizando os impactos de eventos climáticos extremos.

Os resultados alcançados por Ernst Götsch na fazenda Olhos d'Água têm atraído a atenção e inspirado agricultores e pesquisadores em todo o mundo, destacando a viabilidade e os benefícios das práticas agroflorestais na promoção da sustentabilidade e na regeneração de ecossistemas agrícolas.

Sistemas Agroflorestais no sudeste de Goiás– Cerrado

Em seus estudos, Lima (2021) visitou e caracterizou exemplos de plantações agroflorestais no cerrado Brasileiro, mais precisamente no sudeste do estado de Goiás, algumas das propriedades diagnosticadas serão relatadas a seguir:

A Fazenda Olho do Céu, situada a 5 km do centro urbano de Chapadão do Céu, Goiás, abrange 420 hectares às margens do rio Formoso, com 4 hectares destinados a Sistemas Agroflorestais, 100 hectares reservados para áreas de preservação e de proteção permanente (APP), 16 hectares utilizados como pastagens cultivadas, e o restante dedicado ao cultivo de soja. A implementação dos SAFs teve início em 2011, em áreas de pastagens abandonadas que já demonstravam sinais de regeneração natural do Cerrado. A mão-de-obra envolvida na gestão da agrofloresta compreende quatro indivíduos, incluindo um membro da família e dois contratados em tempo integral, juntamente com um trabalhador temporário. A residência é construída em alvenaria, conta com um poço semi-artesiano para abastecimento de água e dispõe de um banheiro ecológico. Em relação à autossuficiência da propriedade, ainda se faz necessário adquirir cerca de 50% dos suprimentos na cidade.

O Sítio Barrufada, localizado no município de Mineiros, inicialmente uma área degradada à margem da GO-341, passou por um processo de regeneração natural de vegetação nativa do Cerrado devido ao abandono. Atualmente, além de servir como residência do agricultor, desempenha funções econômicas e de lazer. Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) foram implantados em meados de 2016, ocupando 1 hectare de um total de 11 hectares. Três pessoas trabalham na propriedade, sendo 2 membros da família

e 1 contratado temporariamente. A residência utiliza técnicas de bioconstrução, como taipa e super-adobe, adaptadas de um antigo curral, e conta com energia elétrica. Além disso, possui um banheiro ecológico e os resíduos orgânicos da cozinha são compostados ao ar livre para uso futuro nos cultivos. A propriedade é praticamente autossuficiente, necessitando adquirir apenas cerca de 20% dos suprimentos na cidade.

O Sítio Tamanduá-bandeira está em fase de consolidação, abrangendo 15 hectares. A implementação da SAFs começou recentemente, ocupando aproximadamente meio hectare de uma área anteriormente usada como pastagem. O agricultor depende exclusivamente da mão-de-obra familiar e reside na propriedade, que desempenha um papel econômico essencial. Para otimizar a fertilidade do solo no SAF ainda em desenvolvimento, o agricultor adotou o cultivo de capim-braquiária entre as fileiras de árvores, que atua como cobertura vegetal até a fase de capina, quando se torna matéria orgânica para enriquecer o solo. A residência, construída com técnicas de bioconstrução utilizando adobe e superadobe, ainda não possui energia elétrica. O banheiro é ecológico e os resíduos orgânicos da cozinha são compostados ao ar livre para uso nos cultivos. Até o momento da pesquisa, a propriedade não alcançou total autossuficiência, necessitando adquirir cerca de 50% dos suprimentos na cidade.

De forma geral, Lima (2021) observou que a adoção de Sistemas Agroflorestais tem desempenhado um papel significativo na revitalização do solo e do ecossistema, apresentando uma abordagem inovadora para a restauração do Cerrado. Entre as vantagens desse sistema, destaca-se a capacidade de abrigar uma diversidade considerável de espécies tanto da fauna quanto da flora, uma vez que a disponibilidade constante de alimento beneficia a vida selvagem na zona de transição. Além disso, os SAFs atuam como agentes de dispersão de sementes e promotores de polinização, ao mesmo tempo que servem como barreiras físicas, protegendo contra a exposição a insumos e agrotóxicos utilizados em cultivos próximos.

Sistemas Agroflorestais do município de Tomé-Açu e Acara – Floresta Amazônica

Barros (2009) analisa os Sistemas Agroflorestais em Tomé-Açu e Acara que veem se destacando pela implementação de tecnologias e processos, resultando em maior proteção ambiental e rentabilidade. São comparáveis a "ilhas de eficiência", introduzindo conhecimentos e tecnologias replicáveis pelos pequenos produtores, sujeitos a adaptações

conforme o contexto socioeconômico e ambiental. Compreendem cultivos como pimenta-do-reino, cacau, açaí e cupuaçu, combinados com espécies frutíferas e florestais. Nota-se a presença de SAFs com cacaueiros sombreados por *Clitoria racemosa*. Ao longo do tempo, houve diversificação das espécies sombreadoras, incluindo frutíferas e madeiras. Além disso, alguns SAFs utilizam essências florestais como teca, cedro, ipê, mogno, taperebá e andiroba, refletindo o interesse dos produtores por espécies madeiras. No entanto, muitos desses sistemas entram em "hibernação" ou desaparecem diante de condições desfavoráveis de preço, mercado, legislação ou o surgimento de pragas e doenças.

Os sistemas que integram espécies madeiras, em associação com culturas como cacaueiro, cupuaçuzeiro ou açaizeiro, enfrentam desafios no manejo para aproveitamento da madeira. É crucial a inclusão de espécies de valor econômico, seja na fase inicial ou final, para a formação eficaz dos SAFs. Algumas plantas servem como ponto de partida para os sistemas, como maracujá, pimenta-do-reino e limão, ao desmatar vegetação secundária. Apesar do mercado promissor que as espécies madeiras proporcionam aos SAFs, há crescentes restrições legais à extração de madeira de florestas nativas. Destaca-se a importância de planejar o plantio de árvores para madeira em ciclos de corte, assegurando um fornecimento contínuo. Projetos de reflorestamento em áreas pequenas e estanques, sem um objetivo econômico definido para pequenos produtores, enfrentam desafios e têm maior probabilidade de insucesso.

Sistemas Agroflorestais fora do Brasil

Vale ressaltar que as iniciativas agroflorestais não estão restritas somente ao contexto brasileiro, já é possível destacar um crescente uso do sistema em outros países da América do sul. (STADNIK, et al.,2019) A América do Sul exibe uma ampla gama de características, tanto em sua geografia e clima quanto em sua cultura. Essa variedade permite encontrar oportunidades inovadoras para a solução dos problemas locais e macrorregionais através das agroflorestas, consequentemente potencializando a discussão deste trabalho e possibilitando a descoberta de outras aplicações construtivas em cenários distintos do cenário brasileiro.

Podemos apontar a Argentina como outro país da América do sul que já apresenta diversos resultados positivos na aplicação dos sistemas agroflorestais. Na região de Córdoba, por exemplo, encontramos iniciativas de sucesso na implementação deste tipo de cultivo e

ainda potencializado pela introdução da criação de animais, caracterizando os sistemas como silvopastoris (STADNIK, et al.,2019). Devido ao bioma de pampa da região, as espécies presentes no plantio se diferenciam bastante dos sistemas brasileiros de mata atlântica, isso possibilitaria o estudo de outra gama de materiais possíveis para incorporação como matéria prima construtiva, trazendo a possibilidade de outros impactos como resultados da aplicação deste trabalho de pesquisa em outros contextos ao redor do continente.

Os exemplos citados neste capítulo do trabalho, ajudam a posicionar os diferentes modelos e sistemas agroflorestais presentes em diferentes contextos brasileiro. Todos os citados tem resultados promissores já registrados, entretanto é importante ressaltar que os sistemas precisam ser adaptados as demandas e dificuldades particulares de cada situação específica. Quanto mais adaptado às necessidades de carências do produtor que comandará o plantio, maior as chances de sucesso econômico, social e ambiental do sistema.

3. USO DE MATERIAIS NATURAIS NA ARQUITETURA

A incorporação de materiais naturais na arquitetura contemporânea é uma estratégia essencial para a construção de edificações mais sustentáveis. Segundo Carvalho (2020), materiais como madeira, pedra e bambu, quando extraídos de forma sustentável, reduzem significativamente os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida das edificações. Além disso, esses materiais possuem baixa energia incorporada, demandando menos energia em sua produção e processamento, o que diminui a emissão de gases de efeito estufa, em comparação com materiais como concreto e aço.

Além de seus benefícios ambientais, os materiais naturais possuem características estéticas e funcionais que contribuem para o conforto dos usuários. De acordo com Souza e Lima (2019), a terra proporciona conforto térmico e acústico, enquanto a pedra é reconhecida por sua durabilidade e resistência. O bambu, por sua vez, destaca-se como uma alternativa promissora devido à sua rápida renovabilidade e flexibilidade estrutural. Essas qualidades tornam os materiais naturais uma escolha eficiente para projetos que integram funcionalidade e harmonia com o ambiente natural.

A utilização de materiais naturais também se alinha aos princípios da bioarquitetura, que visam integrar edificações ao ambiente de forma equilibrada e sustentável. Ribeiro (2021) enfatiza que a bioarquitetura considera fatores como eficiência energética, qualidade do ar interno e conforto térmico, promovendo edificações que beneficiam tanto o meio ambiente quanto a saúde dos usuários.

Outro fator importante para a escolha de matérias naturais se refere a capacidade de fixação de carbono que tem ganhado destaque como estratégia para mitigar as emissões de gases de efeito estufa associadas ao setor. Materiais de origem biológica, como eucalipto, bambu e fibras vegetais, possuem a capacidade de sequestrar dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera durante seu crescimento, armazenando-o em sua biomassa. Quando empregados em edificações, esses materiais atuam como reservatórios de carbono, contribuindo para a redução da concentração atmosférica de CO₂.

A madeira do eucalipto, por exemplo, é amplamente reconhecida por sua eficiência na fixação de carbono. Estudos indicam que aproximadamente 50% da massa seca da madeira é composta por carbono, o que evidencia seu potencial como material de construção sustentável (MOREL; CHAREF; HAMARD, 2021). Além disso, a utilização

de madeira em substituição a materiais convencionais, como concreto e aço, pode resultar em significativa diminuição das emissões de carbono incorporado nas edificações.

Outro material de destaque é o bambu, que apresenta rápido crescimento e elevada capacidade de sequestro de carbono. Pesquisas demonstram que o bambu pode capturar até 12 toneladas de CO₂ por hectare anualmente, tornando-se uma alternativa promissora para construções sustentáveis (VAN DER LUGT; VOGTLÄNDER; BREZET, 2009). Sua aplicação na arquitetura não apenas contribui para a redução das emissões, mas também promove a conservação de recursos naturais devido à sua renovabilidade.

Além dos materiais estruturais, o uso de fibras vegetais em compósitos para a construção civil tem sido explorado como forma de incorporar carbono nas edificações. Fibras como sisal, linho e cânhamo, quando integradas a matrizes cimentícias ou poliméricas, não apenas reforçam os materiais, mas também adicionam conteúdo biogênico, contribuindo para a fixação de carbono (SHEA; WALL; WALKER, 2012).

Ao decorrer deste capítulo serão abordados exemplos de materiais naturais que podem ter sua origem provinda de sistemas agroflorestais. Juntamente com uma breve conceituação histórica do uso do material na construção civil, serão apresentadas técnicas construtivas utilizadas sempre realizando contraponto ao cenário brasileiro atual.

3.1. Terra

Terra, barro, solo e argila, existem diversos sinônimos utilizados na língua portuguesa para se referir a este material que serve como matéria base para o habitar humano desde as primeiras civilizações já registradas. (PISANI, 2004)

A data em que os seres humanos começaram a empregar a terra na construção não é unanimemente aceita. Minke (2022) argumenta que esse uso pode remontar a mais de 9.000 anos, apoiando sua convicção na descoberta de moradias no atual Turquemenistão, feitas de blocos de terra, datadas de um período entre 8.000 a 6.000 a.C. Por outro lado, Pollock (1999) alega que a utilização da terra na construção remonta ao período El-Obeid na Mesopotâmia (5.000 a 4.000 a.C.). Enquanto isso, Berge (2009) menciona exemplares de blocos de terra datados de 7.500 a.C., os quais foram encontrados na bacia do rio Tigres. Portanto, em sua perspectiva, as habitações em terra podem ter começado a ser utilizadas há mais de 10.000 anos. (PACHECO-TORGAL, 2009)

A terra sempre foi o material de construção mais prevalente em quase todos os climas, sejam eles quentes, áridos ou temperados. Até hoje, cerca de um terço da população mundial habita casas de terra, nos países em desenvolvimento, esse número ultrapassa a metade. Mesmo com sua importância milenar, a partir da segunda metade do século XIX, a utilização tradicional da terra começa a perder espaço gradualmente para a ascensão dos materiais de construção industrializados. A terra, por sua vez, é relegada a um papel secundário nas grandes empreitadas tanto públicas quanto privadas, onde passa a competir com as preferências estéticas impostas pelos novos materiais. Não obstante, especialmente em nações em desenvolvimento, a terra continua sendo uma das poucas opções viáveis para a construção da população excluída do mercado formal de habitação. Isso inclui, em grande parte, os habitantes das periferias urbanas e das zonas rurais. (FARIA; NEVES, 2011).

[...]Em contraponto a esse movimento, tornou-se evidente que nas nações em desenvolvimento, as indústrias de materiais de construção convencionais, como tijolo, concreto e aço, assim como técnicas de construção industrializadas, não conseguem suprir as enormes necessidades de moradia. Em todo o mundo, nenhuma região possui a capacidade produtiva ou os recursos financeiros necessários para atender a essa demanda. Nos países em desenvolvimento, a única forma de atender aos requisitos habitacionais é por meio do uso de materiais de construção locais e da aplicação de técnicas de autoconstruções.⁷

A terra representa o material de construção natural mais essencial e está disponível em todas as regiões do globo. Frequentemente, é obtida diretamente do próprio local de construção, ao escavar para fundações ou porões. Nos países industrializados, a exploração desordenada de recursos, aliada à concentração de capital e à produção intensiva em energia, não só representa um desperdício, mas também gera poluição ambiental e aumenta o desemprego. Nestes países, a terra está sendo redescoberta como um material de construção essencial.

⁷ MINKE, Gernot. Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture, Berlin, Boston: Birkhäuser, 2022.

Atualmente, é essencial considerar os impactos ambientais dos materiais de construção e a eficiência energética dos edifícios para reduzir seu efeito significativo na atmosfera e no planeta de forma geral. A União Europeia, por exemplo, estabeleceu a meta de definir padrões para Edifícios de Energia Quase Zero até 2020, incluindo requisitos mínimos e métodos para certificação energética. O Green Deal, é uma iniciativa ambiciosa lançada em 2019 para transformar a UE em uma economia sustentável e neutra em carbono até 2050. Seu principal objetivo é alcançar a neutralidade climática, equilibrando as emissões de gases de efeito estufa com a capacidade de absorção da natureza. Este acordo abrange a indústria da construção, propondo medidas como a promoção da eficiência energética em edifícios, o uso de materiais sustentáveis, a integração de fontes de energia renovável, práticas de construção e renovação mais sustentáveis, gestão responsável de resíduos e estímulo à inovação. Além disso, o Green Deal visa criar empregos verdes na indústria da construção e promover certificações e padrões ambientais. Essa estratégia representa uma oportunidade para a indústria se reinventar de forma sustentável, contribuindo para a criação de espaços mais eficientes e saudáveis, além de cumprir as metas de neutralidade de carbono. (PINTO, et al.,2021)

Estas medidas se concentram em aumentar o isolamento das estruturas e implementar sistemas de alta eficiência. Portanto, ao projetar um edifício, a escolha dos materiais desempenha um papel crucial. A integração de materiais de construção de baixo impacto ambiental é uma estratégia inicial para reduzir as emissões de CO₂, sendo uma parte fundamental das estratégias de economia de energia ao longo do ciclo de vida dos edifícios. Até 30% das emissões de CO₂ podem ser diminuídas com um edifício que utiliza materiais de construção de baixo impacto ambiental. (OLACIA et al., 2019). Diante deste contexto global, é possível analisar o interesse Europeu na retomada de estudo e pesquisas visando a reinserção do método construtivo na arquitetura contemporânea.

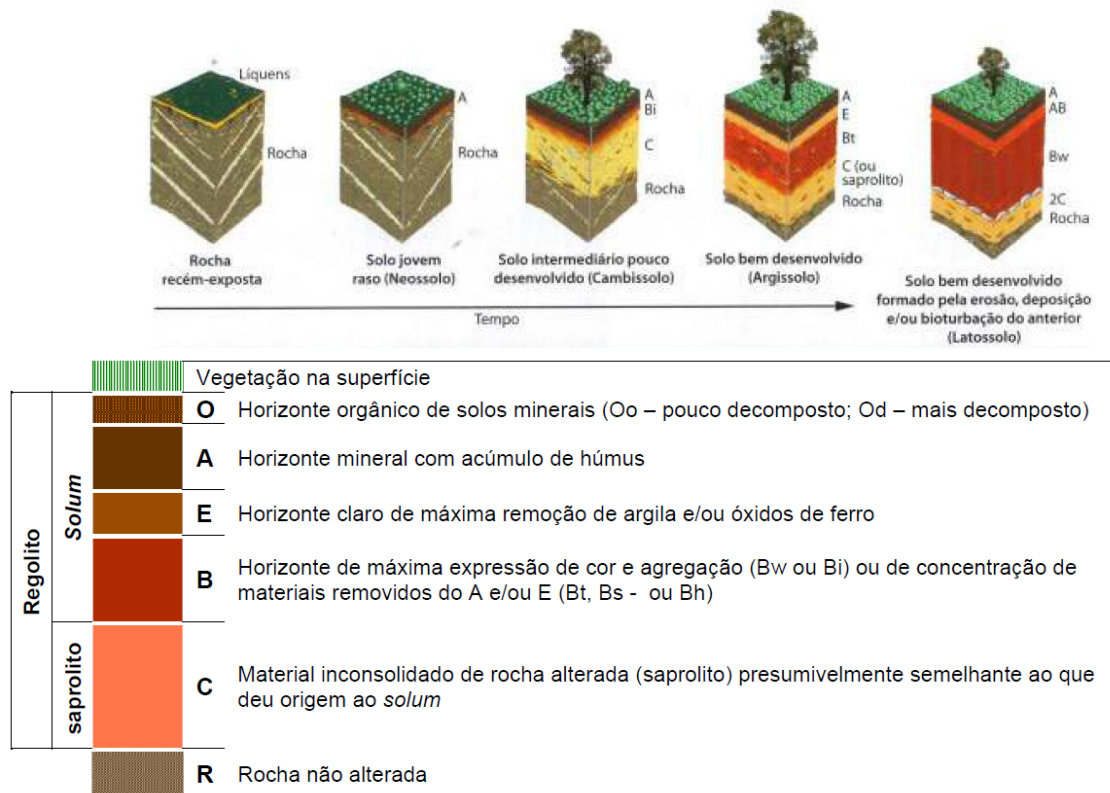
Já no Brasil, conforme observado por Prompt e Borella (2010), a técnica construtiva com terra desempenhou um papel significativo no país durante a era colonial. As construções em terra mais antigas registradas no país remontam às décadas posteriores ao descobrimento. Um exemplo notável é a Igreja dos Santos Cosme e Damião, considerada a mais antiga ainda em operação no Brasil. Esta igreja foi originalmente erguida em taipa no ano de 1535, localizada na região metropolitana de Recife. A utilização da terra como material de construção é comum principalmente nas regiões Norte e Nordeste, onde o

clima é mais quente e seco. O adobe, a taipa de pilão e o pau-a-pique são algumas das técnicas construtivas que utilizam a terra como base. Essas técnicas são utilizadas para construção de casas, galpões, armazéns e outras edificações rurais. (SANTOS, 2015)

Santos (2015) ressalta também que assim como em diversas comunidades tradicionais ao redor do mundo, no Brasil, a terra continua a ser empregada como material de construção, especialmente por populações com recursos financeiros limitados. Em 2010, estimou-se a existência de mais de 70.000 residências de terra no estado do Ceará e 339.097 no Maranhão, representando 79,9% das construções em áreas rurais. Lima Júnior (2007) empreendeu uma jornada de mais de 13.000 km ao longo do litoral nordestino, compilando um inventário sobre a arquitetura costeira e demonstrando que a construção em terra ainda é amplamente praticada.

Mesmo utilizando a terra como matéria base, nota-se que a diversidade de construções com terra no Brasil e no mundo se diferenciam por diversos aspectos. A técnica empregada e o tipo de solo utilizado são fatores que estão diretamente relacionados e que produzem diferenças construtivas significativas nas edificações. A natureza do solo desempenha um papel crucial na construção com terra, influenciando diretamente a durabilidade, estabilidade e eficácia do edifício. Compreender o tipo de solo disponível é essencial para determinar as técnicas construtivas apropriadas, garantindo a segurança e a durabilidade das estruturas de terra. Além disso, a análise do solo também é crucial para planejar a fundação e a estrutura do edifício, adaptando-se às características específicas do local. Portanto, a consideração cuidadosa do solo é essencial para o sucesso da construção com terra, garantindo a sustentabilidade e a integridade das edificações ao longo do tempo. O solo é o material resultante da erosão das rochas e de sua evolução físico-química, para a construção com terra, utiliza-se solo dos horizontes B e C (NEVES ET AL., 2009), figura 7:

Figura 7 - Estágios de desenvolvimento de um solo, com os horizontes principais



Fonte: Fonte: Neves e Faria (2011) adaptado de Lepsch (2010)

De acordo com Santos (2015) os solos são compostos por materiais granulares de dimensões diferentes (pedregulhos, areia, silte e argila). O comportamento desses materiais depende da quantidade de matéria orgânica, ar, umidade e agentes estabilizantes presentes entre essas partículas. Segundo NEVES ET AL. (2009), o solo pode ser classificado de três formas: granulométrica (areno, argiloso, siltoso); pedológica (superficial, subsolo, rocha-mãe) e genética (pedogenético, saprolítico, transportado). A classificação granulométrica é a mais comum na construção com terra. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da norma ABNT/NBR 6502/95 - Terminologia - Rochas e Solos, define termos como:

[...] **Bloco de rocha** – Fragmentos de rocha transportados ou não, com diâmetro superior a 1,0 m.

Matacão – fragmento de rocha transportado ou não, comumente arredondado por intemperismo ou abrasão, com uma dimensão compreendida entre 200 mm e 1,0 m.

Pedregulho – solos formados por minerais ou partículas de rocha, com diâmetro compreendido entre 2,0 e 60,0mm. Quando arredondados ou semi-arredondados,

são denominados cascalhos ou seixos. Divide-se quanto ao diâmetro em: pedregulho fino – (2 a 6 mm), pedregulho médio (6 a 20 mm) e pedregulho grosso (20 a 60 mm).

Areia – solo não coesivo e não plástico formado por minerais ou partículas de rochas com diâmetros compreendidos entre 0,06 mm e 2,0 mm. As areias de acordo com o diâmetro classificam-se em: areia fina (0,06mm a 0,2 mm), areia média (0,2 mm a 0,6 mm) e areia grossa (0,6 mm a 2,0 mm).

Silte – solo que apresenta baixa ou nenhuma plasticidade, baixa resistência quando seco ao ar. Suas propriedades dominantes são devidas à parte constituída pela fração silte. É formado por partículas com diâmetros compreendidos entre 0,002 mm e 0,06 mm.

Argila – solo de graduação fina constituída por partículas com dimensões menores que 0,002 mm. Apresentam características marcantes de plasticidade; quando suficientemente úmido, molda-se facilmente em diferentes formas, quando seco, apresenta coesão suficiente para construir torrões dificilmente desagregáveis por pressão dos dedos. Caracteriza-se pela sua plasticidade, textura e consistência em seu estado e umidade naturais (ABNT, 1995).⁸

Cada classificação descreve as propriedades dos solos em termos de tamanho de partículas e características de plasticidade, fornecendo informações fundamentais para a seleção e utilização adequada desses materiais na construção. Estas informações também são relevantes para a escolha da técnica construtiva mais adequada para o tipo de solo disponível.

Ainda sobre os diferentes tipos de técnicas construtivas, podemos destacar que a prática da construção com terra surgiu em praticamente todas as civilizações antigas e se disseminou por meio de invasões e colonizações, eventos comuns na história da humanidade, com isso, as técnicas locais se mesclaram com as trazidas por estrangeiros, resultando em diversas combinações que foram adaptadas e refinadas para atender às

⁸ SANTOS, Clarissa Armando dos et al. Construção com terra no Brasil: panorama, normatização e prototipagem com terra ensacada. 2015.

Existem algumas diferenças relevantes entre as principais técnicas construtivas, a seguir serão apresentadas características relevantes dos três sistemas principais:

-Monolítica:

Neste método, a estrutura é construída de maneira contínua, um exemplo notável é a técnica da "taipa de pilão", na qual a terra é compactada em camadas sucessivas dentro de um molde específico chamado taipal. O processo se repete até atingir a altura desejada da parede, resultando em uma estrutura sólida, resistente e com boas propriedades de isolamento térmico e acústico.

Podemos abordar os principais aspectos da técnica construtiva segundo a obra de Pisani (2004) que aborda as principais características da técnica. Seu nome é devido ao processo de compactação com o auxílio de um pilão manual. A estrutura que suporta o material durante a compactação é chamada de "taipal", ainda hoje referindo-se aos componentes laterais feitos de madeira. Durante o período colonial brasileiro, a taipa era construída com terra retirada das proximidades da obra, devido às dificuldades de transporte e à grande quantidade de material. O taieiro, com experiência empírica nas propriedades físicas do material e do componente construtivo, selecionava as argilas através do toque e da observação visual.

Schmidt (1946) indica que os solos vermelhos eram os preferenciais devido à sua maior coesão e maleabilidade, seguidos pelos roxos e pardos. Era crucial que estivessem livres de elementos como areia, pedregulhos, húmus e outros materiais orgânicos, pois estes poderiam comprometer a resistência final do material. A terra era retirada de profundidades específicas, geralmente apresentando a umidade adequada, dispensando a necessidade de adição de água.

A preparação da massa consistia na desagregação do solo, seguida de uma cuidadosa pulverização de água para evitar aglomerações. Albernaz e Lima (1998) sugerem a possibilidade de adicionar outros componentes, como areia, cal, cascalho, fibra vegetal e esterco animal, durante esse processo. A argamassa de barro era então disposta em camadas de 10 a 15 centímetros no taipal, sendo compactada com precisão para reduzir sua espessura. O taieiro ou seu assistente trabalhava dentro do taipal, facilitando o processo de compactação. O apiloamento era concluído quando a taipa produzia um som

metálico característico, indicando a mínima presença de vazios ou a máxima compactação manual das argilas.

Um fato importante para fortalecimento desta técnica no contexto brasileiro é que no dia 6 de janeiro de 2022 a ABNT NBR 17014:2022 entrou em vigor, a norma estabelece os requisitos e as condições gerais, controle e aceitação da taipa de pilão. A normatização de técnicas construtivas alternativas desempenha um papel crucial na promoção da sustentabilidade e eficiência na construção civil. Ela garante a segurança e durabilidade das estruturas, estabelece critérios técnicos que reduzem riscos e danos, e contribui para a disseminação e aceitação dessas práticas no mercado. Além disso, facilita a pesquisa e desenvolvimento contínuo dessas técnicas, impulsionando a inovação no setor.

- Técnica mista:

Neste método, a terra é utilizada para preencher uma estrutura de suporte, como por exemplo o pau-a-pique, técnica construtiva de paredes de vedação que consiste em preencher com terra e palha um entramado de galhos, preso a uma estrutura de madeira. Os galhos e a madeira podem ser substituídos por bambu, esta técnica é usada no Brasil desde a colonização, sendo ainda usual, sobretudo no Nordeste (SANTOS, 2015)

O método também chamado de taipa de mão, consiste em uma estrutura de madeira (a estrutura principal) intercalada com um entrelaçado de varas equidistantes (a estrutura secundária). Essa estrutura é preenchida manualmente com terra em estado plástico (o enchimento) (ALBERNAZ, 1998). Geralmente, é recomendável aplicar uma camada de reboco de terra sobre esse preenchimento, servindo como uma proteção externa, visto que a mistura de terra e fibras resulta em um material poroso e com baixa resistência à ação da chuva. Importante destacar que, nessa técnica, a terra não desempenha um papel estrutural; sua função é apenas de vedação. A carga total da construção é suportada pela estrutura principal, que pode ser feita de madeira ou bambu, como mencionado anteriormente (GARZÓN, 2011).

- Por unidades:

Neste sistema, os elementos construtivos são produzidos de forma independente, muitas vezes em moldes, e depois são unidos para formar a estrutura final. Um exemplo comum é o "adobe", no qual a terra é misturada com outros materiais orgânicos, moldada

em tijolos e depois seca ao sol. Estes tijolos são posteriormente utilizados na construção, proporcionando uma técnica modular e versátil.

O Adobe é uma técnica da construção com terra que tem sido utilizada na construção em todo o mundo há milhares de anos. O Adobe continua sendo uma alternativa ambientalmente sustentável que evita o uso de materiais com alto teor de carbono e uso intensivo de energia, a técnica para execução de adobes pode variar ligeiramente de região para região, porém, de maneira geral, para se fazer o tijolo é preciso basicamente misturar a terra e a água até dar o ponto correto, podendo variar dependendo das características do solo utilizado. Quando a mistura estiver pronta basta colocá-la em um molde, desenformar e deixar secar por alguns dias ao sol.

O Adobe continua sendo relevante em todo o mundo, sendo, em muitas regiões, a escolha principal e, por vezes, a única opção viável para a construção. O adobe é um método construtivo que se baseia no uso da terra e é amplamente reconhecido, utilizado e difundido. Ele é utilizado tanto para a construção de paredes verticais quanto para a criação de coberturas em edifícios. Uma das razões para a popularidade do adobe é a sua simplicidade de execução, não requerendo elementos de reforço estrutural. No entanto, em alguns casos, pode ser necessário adicionar fibras para reforçar as propriedades mecânicas do material. Historicamente, a utilização de aditivos para melhorar o desempenho mecânico das construções com terra tem sido uma prática comum. (FARIA; NEVES, 2011).

O Adobe é líder no estudo de materiais ecologicamente corretos devido aos seus excelentes benefícios, como a manutenção da temperatura interna ocasionada pelas propriedades térmicas da terra, sua facilidade construtiva em relação a mão-de-obra e por seus baixos impactos ambientais. Embora os blocos sejam frequentemente usados em áreas rurais de países em desenvolvimento há muito tempo, a pesquisa neste campo floresceu recentemente, com enfoque em analisar algumas limitações em termos de propriedades de resistência e durabilidade (RAMAKRISHNAN et al., 2020)

Essas limitações se tratam de propriedades indesejáveis para construção, como sua pouca resistência a água e sua relativamente baixa resistência à compressão e tração em comparação com outros materiais de construção convencionais. Tais deficiências podem ser minimizadas reforçando a mistura do solo com aditivos ou estabilizantes. Um ótimo exemplo de adição em blocos de adobe são as fibras naturais.

Conforme a norma brasileira ABNT NBR 16814:2020, o solo ideal para a produção de blocos de adobe deve conter entre 45% e 65% de areia, até 30% de silte e de 25% a 35% de argila, proporções que asseguram a coesão, estabilidade e resistência mecânica dos blocos. Solos com teores excessivos de argila podem gerar retrações e fissuras durante a secagem, enquanto teores elevados de areia ou silte reduzem a coesão interna e a resistência à compressão, comprometendo a durabilidade do adobe (ABNT, 2020).

Em situações em que o solo é excessivamente argiloso, torna-se crucial adicionar fibras vegetais ou areia para prevenir fissuras nos blocos após a secagem. Adicionalmente, é possível incorporar aglomerantes como cimento, cal e gesso para reforçar a resistência à compressão ou melhorar a estabilidade do adobe em relação à umidade (ROTONDARO, 2011).

Assim como a taipa de pilão, o adobe também foi contemplado em 2020, dois anos antes, com normas técnicas para sua utilização em construções. ABNT NBR 16814:2020 foi um marco importante para o desenvolvimento e fomento a este tipo de técnica construtiva tão relevante para o cenário brasileiro.

3.2. Fibras Vegetais

Cada vez se torna mais importante a forma com que lidamos com a grande quantidade de resíduos gerados na construção civil e os danos ambientais associados a essa atividade. A construção civil é uma das maiores consumidoras de recursos naturais e gera uma quantidade significativa de resíduos. Portanto, é crucial desenvolver tecnologias sustentáveis para reduzir esse impacto e promover a reutilização e reciclagem de materiais na construção. (CAVAIGNAC, 2023)

Da Silva e De Oliveira (2020) destacam a crescente pressão da sociedade por práticas mais sustentáveis em diversos setores, incluindo empresas, governos e organizações não governamentais. Isso implica em uma mudança profunda na forma de consumir, com ênfase em princípios como reflexão, responsabilidade, redução, reutilização e reciclagem. A busca por novos materiais e produtos com menor impacto ambiental é evidente, e os compósitos reforçados por fibras vegetais despertam grande interesse de pesquisadores e profissionais de diversas áreas devido às vantagens que oferecem tanto para o homem

quanto para o meio ambiente. As fibras naturais são valorizadas por serem recursos renováveis, com boas propriedades mecânicas, biodegradáveis e de baixo custo.

De maneira geral, consideram-se fibras naturais aquelas provenientes de fontes vegetais, como algodão, juta e sisal, que têm celulose em sua composição. (LION FILHO, 2013). Existem diversas fibras vegetais naturais, sendo algumas mais amplamente utilizadas e, conseqüentemente, mais populares, como rami, coco, juta, sisal, licuri, curauá e piaçava (LEÃO, 2008). No Brasil, a piaçava é um exemplo de fibra vegetal amplamente utilizada, ela é explorada desde o período colonial sendo a Bahia responsável por 95% do total da produção nacional. A exploração das piaçaveiras nos Estados da Bahia, Amazonas e Pará é uma atividade puramente extrativista, por isso existe a necessidade de um manejo racional para que sua sobrevivência seja garantida.

Barbosa, Costa e Leão (2019) apresentam em seu estudo uma breve revisão do uso da piaçava na construção civil, destacando que a piaçava foi inicialmente documentada durante a colonização do Brasil por Pero Vaz de Caminha, que descreveu as palmeiras encontradas na costa litorânea e o uso feito pelos povos originários, seja como cobertura para habitações ou na confecção de cordas. No século XIX, a piaçava superou cultivos como algodão, café e açúcar, tornando-se o principal item de exportação de Ilhéus. Houve uma diversificação no uso da fibra em vassouras e escovas nesse período. No entanto, no final do século XIX, a produção de piaçava diminuiu devido ao manejo incorreto da palmeira. A partir de 1930, houve um aumento na produção da fibra e seu uso local, popularizando-a como material de cobertura em construções e reduzindo as exportações. Atualmente, a fibra da piaçava é empregada em vassouras, estofamento de veículos e como cobertura para construções.

No cenário brasileiro, podemos destacar o além da piaçava outras fibras relevantes, uma delas é o buriti como exemplo do aproveitamento deste material natural aplicado nas resoluções de coberturas de construções vernaculares. Nas áreas interiores do estado do Maranhão, a tradição construtiva ancestral dos povos originários continua a exercer uma forte influência, notavelmente no emprego proeminente da palha e do adobe. Essas técnicas, que persistem na contemporaneidade, encontram-se em pleno uso nas paisagens dos Lençóis Maranhenses, em localidades como Barreirinhas e Atins. Nestes povoados costeiros, ainda existem abrigos feitos de palha e galhos de árvores, construídos principalmente por pescadores durante a alta temporada de pesca. Essa prática, herdada dos povos originários que habitavam a região, demonstram o conhecimento específico

dos habitantes dessas casas em relação aos materiais locais e sua habilidade em utilizá-los de maneira eficiente, evitando desperdícios e permitindo a reutilização do local. No entanto, ao longo do tempo, essas técnicas construtivas têm perdido relevância, tanto nas áreas urbanas quanto nas rurais. Portanto, é importante estudar e documentar esse estilo arquitetônico, pois ele representa um testemunho histórico da evolução da arquitetura na sociedade e influencia diretamente os costumes e tradições regionais. (ROCHA; PFLUEGER, 2022)

Também é possível encontrar referências do uso desse material em outras regiões do país, elas são amplamente disseminadas em áreas amazônicas, por exemplo, ganhando destaque na obra premiada do renomado arquiteto Severiano Mário Porto em Manaus. Em alguns de seus projetos, como o restaurante Chapéu de Palha, destaca-se o uso inovador e esteticamente atraente da palha em coberturas. Essa escolha não apenas confere autenticidade e integração com o ambiente local, mas também ressalta um compromisso com a sustentabilidade e a preservação das tradições construtivas regionais. Ao incorporar a palha, Porto não apenas atinge uma função prática, mas também enriquece suas obras com um significado cultural e ecológico, demonstrando uma sensibilidade para a harmonia entre o ambiente construído e a natureza ao redor. Essa tradição representa um testemunho vibrante da valorização e do aprimoramento das técnicas construtivas ancestrais ao longo do tempo.

Uma abordagem promissora para incentivar novamente o uso dessas fibras é através da utilização do material provindo através de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais, como materiais alternativos na construção. Esses resíduos podem ser transformados em subprodutos valiosos, como telhas, painéis e compósitos cimentícios. Em muitos países, esses materiais são utilizados em sistemas de cobertura de baixo custo, representando uma iniciativa economicamente viável e ambientalmente interessante. (CAVAIGNAC, 2023)

Savastano Junior e Pimentel (2000) abordam que em seu estudo que geração de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais está ligada a fatores como as características naturais das plantas e os processos de obtenção de fibras vegetais. Além disso, a restrição e seletividade do mercado, a perecibilidade dos produtos e a falta de informações sobre a destinação alternativa desses resíduos são desafios enfrentados. Para transformar um material de resíduo em subproduto valioso, é necessária sua valorização como matéria-

prima na produção de novos produtos, uma prática fundamental para economias tropicais, embora os custos de coleta e transporte possam ser um fator determinante.

Entretanto, a utilização de fibras vegetais na arquitetura brasileira não se restringe a confecção de coberturas, além disso, as fibras vegetais também podem ser empregadas em compósitos de terra e cimento. Essa técnica combina fibras naturais com materiais de construção, resultando em uma mistura resistente e durável. A combinação das fibras com a terra ou o cimento reforça o material, conferindo-lhe maior resistência à tração e melhorando sua capacidade de suportar cargas. Além disso, eles se destacam por serem mais sustentáveis e por terem menor impacto ambiental em comparação com materiais de construção convencionais. Portanto, a utilização de fibras vegetais em compósitos de terra e cimento representa uma abordagem inovadora e ecologicamente consciente na construção civil.

No contexto brasileiro, Guimarães (1990) e Agopyan (1991) compartilham experiências positivas de utilização de matrizes de cimento reforçadas com fibras naturais para criar componentes construtivos, como telhas, painéis e pias. Esse tipo de fibrocimento alternativo é parte de programas de transferência tecnológica em várias partes do mundo, especialmente em projetos de construção rural e na gestão de resíduos. Contudo, há a necessidade de mais estudos para aprimorar a caracterização da matéria-prima fibrosa e desenvolver novos produtos e métodos de produção. Algumas abordagens bem-sucedidas incorporaram polpas celulósicas como reforço, embora tenham exigido investimentos consideráveis em custos produtivos.

Retornando a piaçava, a fibra também é objeto de extensa pesquisa como alternativa às fibras sintéticas, para reforço de materiais estruturais e desenvolvimento de novos produtos na construção civil. Suas propriedades mecânicas mostram seu potencial em aplicações que exigem alta resistência, destacando-se por ser de origem vegetal e se adaptar bem às condições ambientais. Assim, a fibra da piaçava se mostra como uma alternativa de menor impacto ambiental na construção, aproveitando sua robustez e o benefício de ser proveniente de uma espécie nativa da Bahia, explorada desde os primórdios da história brasileira. (BARBOSA; COSTA; LEÃO, 2019)

Realizando a transposição para nosso recorte, pequenos produtores rurais que se encontram em processo de implementação de sistemas agroflorestais, podemos destacar a técnica construtiva em adobe como uma alternativa acessível e de fácil reprodução para

auxilia-los em suas autoconstruções. A matéria-prima básica para a produção de adobe é a terra, no entanto, dependendo de sua composição que pode variar de acordo com o local de coleta, faz-se necessário agregar outros materiais, como adições ou estabilizantes. É comum a utilização de palhas para evitar a fissuração na secagem do bloco (FARIA; NEVES, 2011).

O uso de fibras no traço do adobe pode ser uma solução para essas deficiências. Com o acréscimo desse material juntamente com a terra é formada uma rede de fibras que pode ajudar a reduzir o tamanho das fissuras de retração e aumentar a resistência à tração pós-rachadura. Esses benefícios incluem maior resistência e durabilidade do produto acabado. (SALIH, et al., 2020)

Nas construções tradicionais, o uso de fibras naturais era técnica comum. Na Grécia Antiga, as fibras de madeira e palha eram frequentemente usadas para aumentar a estabilidade do volume. As fibras vegetais também foram muito utilizadas na arquitetura muçulmana para melhorar a ligação e reduzir rachaduras. Suas funcionalidades dependem de sua geometria (comprimento, diâmetro e forma), sua porcentagem, a interação com o ligante, sua orientação e dispersão no interior da mistura. (KESIKIDOU et al., 2019)

Com o avanço das tecnologias industriais, as fibras naturais foram sendo em parte substituídas por materiais modernos como polipropileno, aço, vidro e fibras de carbono, porém, com a atual necessidade de recorrermos a materiais mais sustentáveis as fibras naturais retornam ao cenário de pesquisa e desenvolvimento. Existem muitos estudos na literatura sobre fibras naturais dependendo de sua localização e disponibilidade de material. (RAMAKRISHNAN et al., 2020)

O apêndice 1 deste estudo, produz uma breve revisão bibliométrica acerca da utilização de fibras vegetais como reforço de adobes. Notou-se que o acréscimo destas fibras desempenha um papel fundamental no fortalecimento desses compostos, retardando a propagação de fissuras e aumentando a resistência do material. Portanto, a incorporação dessas fibras pode potencializar as propriedades dos materiais de construção e contribuir para a redução dos impactos ambientais.

O apêndice 1 também demonstra que países em desenvolvimento, localizados principalmente na África, apresentam maior quantidade de publicações, motivadas principalmente pela grande utilização do sistema construtivo em habitações situadas em maior parte nas suas áreas rurais, a justificativa dos estudos nesse contexto visa

principalmente trazer alternativas e melhorias para os moradores dessas regiões. Os países Europeus que também publicam sobre o tema apresentam maior motivação relacionada com as questões ligadas a sustentabilidade da construção com terra, enxergando a técnica como possível aliada na diminuição de gases poluentes e como ferramenta para um uso de matéria prima mais consciente.

É possível concluir também que em todos os artigos a escolha dos tipos de fibra se deu por questões locais de facilidade de acesso ao material, isso demonstra a necessidade de estudos regionais e mais abrangentes, justificados pela ampla gama de fibras vegetais disponíveis e por sua variedade que depende de clima, região e da disponibilidade presente.

De acordo com as conclusões do apêndice 1, é possível destacar a fibra de palmeira presente em estudos distintos como uma excelente candidata no cenário brasileiro. O Brasil possui diversas palmeiras nativas em seu território e algumas delas já estão inseridas em importantes sistemas produtivos, um bom exemplo é a Euterpe Oleracea, uma palmeira muito comum na região da Amazônia que produz um fruto bacáceo de cor roxa (açaí), muito utilizado na confecção de alimentos e bebidas. Os estudos que utilizaram a fibra vegetal da palmeira como reforço estrutural para tijolos em adobe obtiveram resultados satisfatórios comprovando a viabilidade da técnica construtiva.

3.3. Bambu

Como já abordado na pesquisa, é imperativo o desenvolvimento e aplicação de materiais de baixo custo e com menor consumo de energia na engenharia civil. Os materiais convencionais, industrializados, demandam grandes investimentos financeiros, consomem muita energia e envolvem processos centralizados. Além disso, nas universidades de países em desenvolvimento, o ensino e a pesquisa ainda se concentram em materiais como aço e concreto, seguindo padrões dos países industrializados. Isso resulta na supressão de atividades em áreas rurais e em cidades pequenas, gerando desemprego e déficit habitacional, e levando ao desperdício de recursos não renováveis e à poluição contínua. Portanto, torna-se evidente que a adoção de materiais ecológicos atende a requisitos cruciais, como a redução do consumo de energia, a preservação dos

recursos naturais, a diminuição da poluição e a promoção de um ambiente saudável (GHAVAMI, 2001).

Marques, Luiz e da Silva (2020) destacam que o bambu se encontra entre os materiais renováveis e de baixo impacto ambiental mais promissores para uso na construção civil. Com mais de 1300 espécies identificadas globalmente, o Brasil abriga a segunda maior diversidade de bambus no mundo, ficando apenas atrás da China. Esta versátil família de plantas é utilizada em diversas áreas, como agricultura, arquitetura, culinária, medicina e bioenergia, especialmente na Ásia. O bambu se destaca por seu rápido crescimento, resistência mecânica, baixo impacto ambiental e viabilidade econômica. Além disso, seu cultivo contribui para a redução da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, superando a capacidade das árvores nesse aspecto. Apesar de ser um dos materiais de construção mais antigos, com histórico de uso em diferentes culturas, seu emprego atual é mais expressivo em países que possuem regulamentações específicas para sua utilização na construção civil. No entanto, em muitas partes do mundo, o uso do bambu é limitado a áreas rurais e em condições precárias.

Já existem diversas iniciativas que visam aprofundar as pesquisas para o uso do bambu como alternativa construtiva no intuito de enfrentar o problema habitacional no Brasil, especialmente em áreas rurais, cidades pequenas e países em desenvolvimento. Uma delas, se encontra no Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) que tem desenvolvido um programa de pesquisa desde 1979. Este programa utiliza materiais naturais locais, como bambu, fibras vegetais, terra crua e solo-fibra, para criar novos elementos estruturais na construção civil, como lajes, vigas e colunas de concreto, substituindo o uso de aço. Isso inclui a fabricação de placas corrugadas feitas de compósitos de pasta de cimento reforçado com polpa de bambu, placas de argamassa de cimento e blocos de solo reforçados com fibras de coco e sisal, bem como elementos de concreto armado com bambu (GHAVAMI; MARINHO 2003).

Apesar de seu alto potencial construtivo já comprovado, o bambu necessita de atenções não convencionais para que seu uso seja realizado da maneira correta sem prejudicar seu desempenho. A falta de conhecimento adequado sobre o projeto, tratamento e manutenção de estruturas construídas com bambu pode significativamente reduzir a sua vida útil. Primeiramente, o projeto inadequado pode resultar em sobrecargas ou distribuição irregular de forças, levando a falhas prematuras, como também contribuir

para a não proteção de áreas mais sensíveis da estrutura, como as que possam receber mais insolação ou chuvas. Além disso, a ausência de tratamentos apropriados para proteger o bambu contra insetos, fungos e umidade pode acelerar a deterioração do material, sem tratamentos preservativos e técnicas de secagem adequadas, o bambu pode ficar suscetível a ataques de pragas e a processos de decomposição enfraquecendo a estrutura e diminuindo drasticamente sua vida útil. Por fim, a falta de uma rotina de manutenção contínua pode acelerar a degradação do material ao longo do tempo e sem inspeções regulares e reparos quando necessário, pequenos danos podem se transformar em problemas maiores, comprometendo a estabilidade e a segurança da construção.

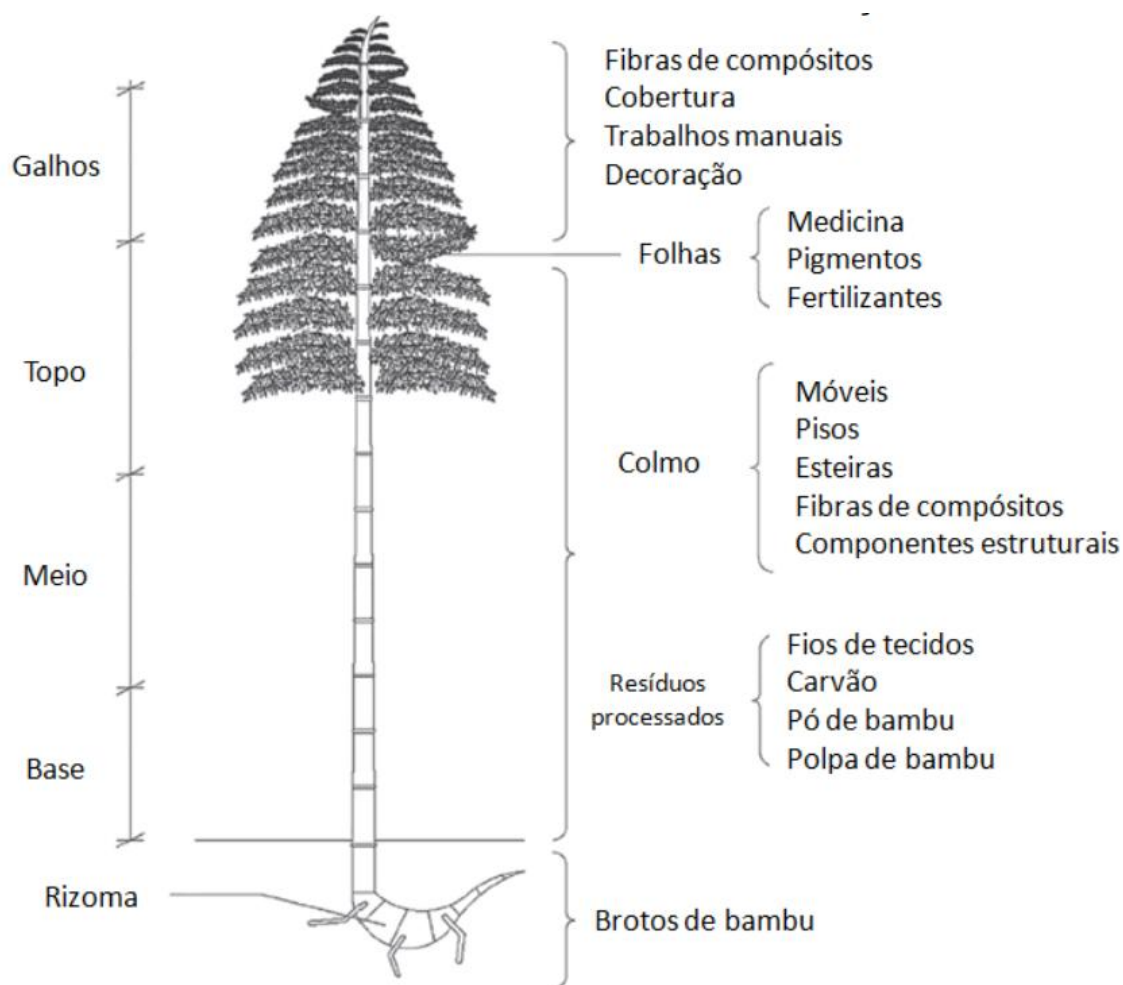
Essa falta de conhecimento e práticas inadequadas ao longo dos anos contribuiu para a estigmatização do uso do bambu como método construtivo. Muitas vezes, construções de bambu foram associadas a estruturas precárias e temporárias devido a casos de falhas e colapsos causados pela falta de entendimento técnico. Para combater esse estigma, é crucial investir em capacitação e educação sobre o uso correto do bambu na construção civil, destacando suas vantagens e fornecendo orientações precisas sobre projeto, tratamento e manutenção para garantir a segurança e durabilidade das estruturas.

Para entender o comportamento do material é necessária a abordagem de alguns temas relevantes sobre a espécie, tópicos como morfologia, taxonomia, tratamento e princípios básicos construtivos são necessários para que o profissional possa executar de maneira segura e correta uma construção com estrutura de bambu.

-Morfologia

O bambu, pertencente à família Gramineae, é uma planta herbácea gigante e lenhosa de crescimento rápido, composta por uma parte aérea chamada colmo, e uma parte subterrânea formada por rizoma e raiz. Com mais de 1.300 espécies distribuídas em cerca de 45 gêneros, o bambu pode ser encontrado em todos os continentes, com predominância na Ásia e na América. No Brasil, as variedades asiáticas introduzidas pelos colonizadores portugueses, negros e orientais se adaptaram ao clima, tornando-se mais comuns do que as espécies nativas. (BARBOZA; BARBIRATO; SILVA, 2008) Na figura 9 está apresentada uma representação esquemática de suas principais partes e exemplos de produtos que podem ser obtidos.

Figura 9 - Morfologia da planta e seus produtos derivados

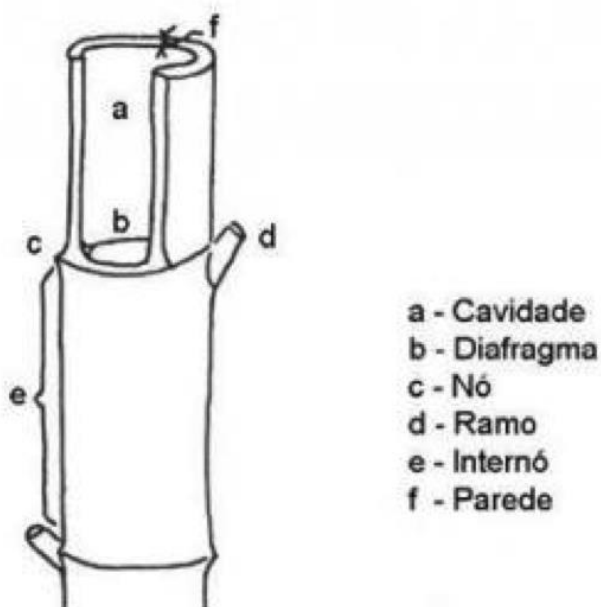


Fonte: Correal (2020)

O colmo do bambu é a parte de maior interesse para aplicações estruturais, sendo um tubo cônico de comprimento variável, apresentando nós como irregularidades periódicas. A base do colmo, de diâmetro maior, suporta as maiores cargas, especialmente devido à ação dos ventos. Ao fazer um corte longitudinal no colmo, é possível observar sua parte interna, que contém diafragmas subdividindo seções ocas entre os nós. Esses diafragmas são responsáveis pela resistência à torção e à flambagem do colmo, e a distância entre os nós, chamada de internó, influencia significativamente a resistência mecânica. Além disso, outros parâmetros como comprimento, diâmetro externo e espessura da parede do colmo variam de acordo com a espécie, qualidade do solo, condições ambientais, manejo do bambuzal e posição ao longo do colmo. (MARQUES; LUIZ; DA SILVA, 2020)

Na Figura 10, é apresentado um diagrama esquemático das principais regiões do colmo.

Figura 10 - Regiões do colmo do bambu



Fonte: Adaptado de Pereira (2001)

Existem algumas diferenças importantes entre vegetações lenhosas e gramíneas como o bambu, a maneira como ocorre seu crescimento é uma delas, o processo difere daquele das madeiras convencionais, com seu desenvolvimento ocorrendo do solo em direção ao topo. As partes mais próximas do solo são as mais antigas e apresentam propriedades mais vantajosas em termos de resistência e durabilidade. O sistema de fibras de sustentação do bambu é composto por feixes dispostos na mesma direção longitudinal, quase paralelos. No entanto, o posicionamento das fibras muda próximo ao nó. As fibras que antes eram paralelas se entrelaçam, tornando o nó uma área de maior concentração de fibras em várias direções. Isso confere ao nó uma resistência maior à compressão e impede a separação das fibras ao longo dos entrenós. Os nós proporcionam uma amarração transversal, conferindo maior rigidez ao colmo de bambu (LOPEZ, 1981).

Essa diferença influencia diretamente quando utilizamos o material para construção. A maneira como as fibras estão dispostas no colmo precisa ser analisada no momento que

projetarmos e executarmos os encaixes e conexões das peças. Como as fibras estão apresentadas sempre em um único sentido é natural que possam aparecer pontos de cisalhamento entre elas, essa preocupação pode ser minimizada com a indicação e execução correta das ligações necessárias para a construção da edificação.

-Taxonomia

Devido ao tamanho de sua diversidade de espécies, o bambu apresenta uma série de diferenças morfológicas entre algumas de suas variações. É importante que o construtor que se propõe a trabalhar com o material conheça basicamente as questões mais relevantes que possam influenciar a metodologia construtiva de acordo com a espécie disponível como matéria prima

Entre espécies, é possível analisarmos variações de diferentes naturezas, como: coloração; distância entre nós; espinhos; formato e variedade de folhas; velocidade de crescimento; ordenação de desenvolvimento do rizoma; altura e diâmetro máximo dos colmos. As duas últimas são fundamentais para a definição de como o material será empregado na construção civil.

A diferença entre os diâmetros e tamanhos depende da espécie de bambu e da maturidade da vara. As propriedades mecânicas podem variar entre os diferentes tipos de colmos. Desta forma é essencial uma boa escolha e destinação do bambu à ser usado. A tabela 1 demonstra algumas espécies e seus respectivos comprimentos, diâmetros, massas e comprimentos de seus internos.

Tabela 1- Tabela de espécies de bambu e suas dimensões

Espécies	Colmo			
	Comprimento útil (m)	Diâmetro (cm)	Massa (kg)	Compr. internódios (cm)
<i>Bambusa vulgares</i>	10,70	8,10	12,50	32,00
<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>vittata</i>	9,30	7,20	10,30	34,00
<i>Bambusa oldhami</i>	9,90	6,90	8,40	41,00
<i>Bambusa nutans</i>	10,00	5,80	7,80	38,00
<i>Bambusa tulda</i>	11,90	6,60	11,90	49,00
<i>Bambusa beecheyana</i>	9,00	7,80	10,50	28,00
<i>Bambusa stenostachya</i>	15,10	8,20	17,50	35,00
<i>Bambusa tuldoidea</i>	9,20	4,30	3,80	46,00
<i>Bambusa textilis</i>	8,10	4,80	3,30	44,00
<i>Bambusa ventricosa</i>	9,30	4,80	4,50	44,00
<i>Bambusa maligensis</i>	7,40	4,30	3,50	28,00
<i>Bambusa dissimulator</i>	9,50	4,60	5,20	41,00
<i>Dendrocalamus asper</i>	14,50	12,20	61,30	34,00
<i>Dendrocalamus latiflorus</i>	11,50	11,50	40,70	37,00
<i>Dendrocalamus strictus</i>	10,50	7,60	15,00	38,00
<i>Dendrocalamus Giganteus</i>	16,00	14,20	84,50	34,00
<i>Ochlandra travancorica</i>	11,30	9,40	26,00	40,00
<i>Phyllostachys edulis</i>	4,40	3,60	2,10	15,00

Fonte: Salgado (1994)

-Tratamento

Ao utilizar bambu na construção civil, é crucial considerar o processo de preservação do material. O amido natural presente no bambu, pode atrair insetos, após o corte, se não for devidamente removido ou tratado. Sem um processo adequado de tratamento, a seiva pode servir como fonte de alimento e habitat para insetos como, em especial, a espécie *Dinoderus Minutos*, comprometendo a integridade e resistência do bambu ao longo do tempo. Portanto, é essencial realizar um tratamento eficaz, que pode ser natural ou químico, para garantir a durabilidade e prolongar a vida útil do bambu na construção.

De acordo com LIESE (1998), após o corte, uma parte das células conhecidas como parênquimas contém polímeros de amido, que se tornam altamente atrativos para fungos e insetos xilófagos. Portanto, o tratamento químico do bambu desempenha um papel crucial em assegurar sua durabilidade e prolongar sua vida útil. No Brasil, um dos métodos químicos mais amplamente adotados envolve o uso de ácido bórico e bórax, por meio da imersão das varas, permitindo que o bambu absorva os sais dissolvidos na água. Esse procedimento reduz a concentração de amido presente no bambu, uma vez que parte dele é retida na água do tanque. É essencial trocar a água do tanque periodicamente para

evitar a saturação de matéria orgânica. Além disso, os sais absorvidos aderem à parede da lenhosa, dificultando a proliferação de organismos xilófagos.

Segundo López (1981), o tratamento químico é mais eficaz e pode prolongar a durabilidade da construção de bambu por cerca de 15 anos. Já os métodos naturais incluem a cura na mata, que envolve posicionar o bambu na posição vertical por cerca de 30 dias para aumentar a resistência contra brocas, mas não contra fungos e cupins; a cura pelo fogo, que submete os colmos ao calor do fogo para preservação; e a cura pela água, que consiste em submergir os colmos em água por várias semanas para melhorar a resistência contra insetos e fungos. Porém, os métodos químicos, embora mais eficazes, demandam cuidados extras devido ao manuseio, aplicação e descarte dos produtos utilizados, que podem ser contaminantes para o meio ambiente. (BARBOZA; BARBIRATO; SILVA, 2008)

-Princípios básicos construtivos

De acordo com López (1981) em *“Manual de Construcción com Bambu”* para executarmos estruturas precisamos ter atenção em alguns princípios básicos que garantirão maior vida útil para a edificação, podendo destacar:

Seleção de Bambu de Qualidade: Escolha varas de bambu maduras, com paredes espessas e sem sinais de danos causados por pragas ou fungos. Para assegurar sua resistência é indicado a colheita dessas varas somente a partir dos 3 anos vida, assim os colmos estarão secos e maduros o suficiente para serem usados em construções. É importante também assegurar que as escolhas das varas priorizem diâmetros e distâncias entre nós similares para facilitar os encaixes e diminuir a perda de material.

Tratamento Adequado: Como já explicitado neste capítulo, o bambu deve ser tratado para aumentar sua durabilidade e resistência contra insetos e fungos.

Distanciamento do Solo: Manter o bambu afastado do solo para evitar o contato direto com a umidade. O colmo do bambu possui a propriedade de captar muita umidade através da capilaridade, isso pode levar ao apodrecimento da peça. É recomendada uma elevação de cerca de 50 cm da terra.

Conexões Adequadas: As conexões entre as varas de bambu devem ser bem planejadas e executadas. Existem diversas técnicas, como a "Boca de Pescado" e outras

variações, que proporcionam uma ligação segura e resistente, além disso, é importante usar elementos como tesouras e triangulações para reforçar a estrutura e alcançar vãos e pés direitos mais generosos

Coberturas impermeáveis e bem dimensionadas: É crucial considerar os beirais ao construir com bambu. Beirais adequadamente dimensionados protegem as peças da estrutura contra a exposição direta à chuva e ao sol, o que pode prolongar significativamente a vida útil do material. Eles também ajudam a manter o interior da construção mais seco e confortável.

Manutenção Regular: O bambu requer supervisão anual para observar como a estrutura reage às intempéries. A manutenção pode envolver a aplicação de verniz, controle de fissuras ou até a substituição de peças danificadas.

A maioria das conexões entre as varas de bambu não é altamente rígida, o que as torna consideradas rotuladas. Para reforçar a estrutura, é necessário o uso de elementos como tesouras e o triangulamento das varas. Esses elementos contribuem significativamente para os valores de resistência final da estrutura. Dessa forma, o fator de segurança elevado não impacta muito no custo final, uma vez que esses elementos são cruciais para um projeto estrutural adequado.

A ligação entre as varas e a fundação pode ser realizada de várias maneiras, sendo a mais comum o preenchimento do colmo com concreto. Para uma interação ideal entre a vara e a fundação, é recomendado chumbar uma barra de ferro a pelo menos 30 cm na fundação e 30 cm dentro da vara, garantindo uma aderência eficaz entre a barra de ferro e o concreto. O uso do bambu na construção civil tem uma longa história, com conexões antigas feitas com cordas ou fibras naturais para unir as varas na estrutura. Ademais, o próprio bambu pode ser cortado para proporcionar uma conexão perfeita entre as varas, atuando como ponto de união entre elas.

3.4. Madeira

A madeira é produzida por diferentes espécies de árvores, cada qual com características anatômicas, físicas e mecânicas próprias. A madeira é um material higroscópico, sendo que várias de suas propriedades são afetadas pelo teor de umidade presente. Sua natureza biológica submete-a aos diversos mecanismos de deterioração

existentes na natureza e, além disso, é susceptível ao fogo. Essas desvantagens podem ser eliminadas ou minimizadas, com o emprego de tecnologias já disponíveis e de uso consagrado nos países desenvolvidos. No entanto, o desconhecimento das propriedades da madeira por muitos de seus usuários e a insistência em métodos de utilização antiquados são as maiores causas de desempenho insatisfatório da madeira frente a outros materiais. (ZENID, 2011)

No Brasil, dentre as diversas espécies de madeira, o eucalipto se destaca como uma opção altamente promissora. Provindas de florestas de reflorestamento, possui um crescimento rápido, boa aparência e propriedades físicas e mecânicas satisfatórias, o eucalipto apresenta um potencial considerável como matéria-prima alternativa no mercado madeireiro. Contudo, é crucial destacar que a escolha de espécies inadequadas, o corte prematuro das árvores, a falta de informações sobre o manejo florestal e desafios tecnológicos são alguns dos fatores que podem impactar negativamente na utilização bem-sucedida do eucalipto. (ALTOÉ; DE ALVAREZ, 2007)

A cultura do eucalipto no Brasil começou há aproximadamente 200 anos, quando mudas foram trazidas por D. Pedro I para o Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Inicialmente, o uso estava voltado para a geração de energia, como lenha para locomotivas e para indústrias, especialmente siderúrgicas, um propósito que ainda se mantém atualmente. No entanto, nos dias de hoje, o eucalipto é predominantemente utilizado na indústria de papel e celulose, bem como no processamento de toras em produtos como compensados, chapas e laminados. Atualmente, o Brasil cultiva eucalipto em uma área total de 7,5 milhões de hectares, sendo que Minas Gerais e Mato Grosso do Sul são os principais estados produtores, seguidos por São Paulo e Paraná. Uma vantagem notável do eucalipto como opção de madeira de reflorestamento é sua rápida taxa de crescimento em comparação com madeiras semelhantes. O eucalipto leva cerca de 7 anos para atingir a maturidade, enquanto o pinus, por exemplo, requer aproximadamente o dobro desse tempo. Além disso, quando se trata de produção de móveis, embora o eucalipto leve cerca de 14 anos para maturar, isso é metade do tempo em comparação com a produção de carvão vegetal. Portanto, o cultivo do eucalipto se torna uma escolha atraente para esse setor, especialmente considerando que a utilização de madeiras nativas pode ser proibida por lei e o eucalipto ajuda a reduzir a extração dessas madeiras para a produção de móveis. (GÓES, 2022)

Ainda que a maior parte do reflorestamento de eucalipto no Brasil se apresente através da monocultura, diferente do modelo que o presente trabalho se propõe a abordar, o material apresenta um importante benefício ambiental. Uma característica positiva é o seu alto potencial para absorver dióxido de carbono (CO₂). Árvores jovens, com alta produção de biomassa e ciclos curtos, requerem grandes quantidades de CO₂ para a fotossíntese, este potencial é amplamente considerado pelos pesquisadores como um dos principais critérios, se não o principal, para avaliar os benefícios eco-ambientais de uma planta. O eucalipto, devido à sua alta produção de biomassa e rápida rotação, se destaca como um eficiente absorvedor de gás carbônico, um dos principais contribuintes para o efeito estufa. Árvores em crescimento ativo são os maiores consumidores de CO₂ e quanto mais rápido o seu ciclo de crescimento, mais eficaz é esse processo. (CALIL JUNIOR; BRITO, 2010)

No contexto da construção civil, Zenid (2011) defende o uso do material por diversos fatores, o autor destaca que o material possui propriedades específicas que o tornam muito atraente frente a outros materiais. Dentre elas, são comumente citados o baixo consumo de energia para seu processamento, a alta resistência específica, as boas características de isolamento térmico e elétrico, além de ser um material muito fácil de ser trabalhado manualmente ou por máquinas. O aspecto, no entanto, que destaca a madeira dos demais materiais é a possibilidade de produção sustentada nas florestas plantadas e nas modernas técnicas silviculturais empregadas nos reflorestamentos, que permitem alterar a qualidade da matéria-prima de acordo com o uso final desejado.

Uma das explicações para o subestimado uso do eucalipto na construção civil brasileira é a forte influência arquitetônica sofrida pela tradição construtiva portuguesa, que se manteve predominante desde os tempos coloniais até os dias atuais. Em Portugal, prevalecem construções em alvenaria de tijolos ou pedra, com apenas cerca de 5% das casas sendo estruturadas em madeira. Além dessa influência, a migração de diferentes grupos étnicos trouxe contribuições culturais de várias partes do mundo, incluindo Alemanha, Holanda, Itália, Japão, Polônia, Rússia, além das influências africanas e indígenas. Embora a madeira tenha sido historicamente utilizada em elementos não-estruturais na construção civil brasileira, como forros, coberturas e revestimentos, sua presença em elementos estruturais é associada principalmente a regiões influenciadas por imigrantes europeus, especialmente no Sul e Sudeste do país. Porém, em estados como a

Bahia, Rio de Janeiro e São Paulo, prevalecem a tradição de construção em alvenaria e concreto, refletindo a forte influência lusitana. (SILVA, 2019)

Ainda no contexto da construção civil, tanto a madeira serrada quanto a roliça do eucalipto podem ser empregadas de maneira eficaz. (ALTOÉ; DE ALVAREZ, 2007) Como já citado, as madeiras de eucalipto possuem características favoráveis em termos de trabalhabilidade e resistência mecânica, o que as torna promissoras para sua utilização na construção civil, porém, analisando o cenário da autoconstrução rural é natural encontrarmos a escolha do uso de madeiras roliças como material base de construções, peças de madeira serrada necessitam atravessar um processo industrial que se distancia da realidade do pequeno produtor do campo. (CALIL JUNIOR; BRITO, 2010)

As propriedades do eucalipto motivam estudos que visam explorar o potencial dessa madeira, incluindo o uso de exemplares jovens. Um exemplo é o trabalho de Partel (2006), que investigou como aproveitar a madeira roliça de eucalipto de pequeno diâmetro na produção de painéis estruturais e não estruturais em habitações sociais. Góes (2022) estudou o modelo Whale Bone (“costela de baleia”) – uma tipologia estrutural originalmente construída na Escócia, fazendo uma adaptação da estrutura para a realidade nacional, substituindo a matéria prima original pela madeira roliça de eucalipto, bem como empregando outras técnicas e componentes de construção encontrados em nossa região. Além disso, Calil Júnior e Brito (2010) conduziram diversos estudos com madeiras de diferentes espécies de eucalipto, com o objetivo de criar um guia para o projeto e construção de estruturas de madeira usando peças roliças. Eles também apresentaram dados de testes com madeiras jovens de três espécies de eucalipto, sugerindo sua aplicabilidade em estruturas.

Segundo o trabalho de Calil Junior e Brito (2010), as peças roliças de madeira apresentam desafios significativos devido às suas características geométricas, especialmente na garantia de peças com forma reta e com pouca variação dimensional devido à conicidade, entretanto, uma vantagem crucial na atualidade ao utilizar peças roliças em construções de estruturas de madeira é que essas madeiras provêm exclusivamente de árvores de reflorestamento, o que contribui para a preservação das florestas nativas. Além disso, a utilização de peças roliças de madeira em estruturas oferece significativas vantagens em termos de sustentabilidade econômica e ambiental em comparação com peças de madeira serrada. A escolha por peças roliças de madeira resulta em notável redução de custos, demandando menor investimento em equipamentos

e maquinário, o que se traduz em menos despesas com mão de obra, menor consumo de energia e redução dos desperdícios de recursos naturais e matéria-prima. Enquanto no processo de corte de madeiras serradas são gerados resíduos que equivalem a 60% a 70% da peça original, comprometendo a planicidade das peças e, por conseguinte, reduzindo as dimensões transversais e a resistência estrutural das peças

Sua facilidade de manuseio e baixo peso a tornam um material altamente competitivo, aliviando as estruturas de fundação e permitindo que sejam mais esbeltas, também possuem a capacidade de suportar sobrecargas de curta duração sem causar danos. Essas características estão diretamente ligadas as escolhas dos sistemas estruturais mais adequados para cada finalidade pretendida, é possível construir com madeira roliça alguns tipos de sistemas estruturais utilizados no emprego deste material: (a) postes de eletrificação; (b) defensas; (c) barreiras acústicas; (d) muros de contenções de terra; (e) passarelas estaiadas; (f) pontes mistas de madeira roliça e concreto armado; (g) pontes compostas por vigas de madeira roliça; (h) edificações residenciais compostas por pórticos; (i) edificações compostas por painéis autoportantes; (j) galpões rurais ou industriais; (k) coberturas; (l) torres de observação.:

Figura 11 - Sistemas estruturais em madeira roliça



Fonte: adaptado de Brito (2010).

Outro fator importante na utilização deste material é na escolha dos tipos de conexão das peças, o uso eficiente dessas junções desempenha um papel crucial na construção civil, pois garantem a estabilidade, segurança e durabilidade das estruturas. Ao escolher e implementar as conexões apropriadas, é possível assegurar a integridade da edificação, permitindo que suporte cargas e condições ambientais variadas ao longo do tempo. Além disso, conexões bem projetadas facilitam a montagem e desmontagem das estruturas, o que pode ser fundamental em projetos que necessitam de adaptações ou manutenções futuras. A figura 12 demonstra alguns dos tipos de ligações entre os elementos estruturais: (a) entalhe; (b) cavilha de madeira; (c) barra rosqueada, arruelas e porcas; (d) barra rosqueada e pino metálico com rosca fêmea (Dowel-Nut); (e) chapas metálicas externas parafusadas; (f) chapa metálica interna parafusada; (g) consoles metálicos perfurados e parafusados; (h) chapas metálicas perfuradas e pregadas; (i) elementos metálicos especiais para treliças espaciais; (j) cinta metálica; (k) anéis metálicos, barras de aço, arruelas e porcas; (l) placa de base para fixação da coluna no bloco de fundação:

Figura 12 - Tipos de conexões em eucalipto



Fonte: adaptado de Brito (2010).

Segundo Silva, (2019) um ponto de atenção na utilização de madeira no contexto da construção civil, são alguns aspectos morfológicos que podem influenciar seu desempenho, destacando: a presença de nós; rachaduras; bolsas de resina; medula e desvios na direção das fibras. Estes aspectos são considerados defeitos de formação na madeira, podendo afetar sua resistência futura durante sua utilização, é possível analisar alguns exemplos através da figura 13:

Figura 13 - Imperfeições presentes em madeira roliça



Fonte: Adaptado de Silva (2019)

Os nós, que podem ser firmes ou mortos, causam desvios nas fibras ao seu redor, resultando na redução da resistência. Rachaduras surgem devido a tensões de crescimento ou durante o processo de secagem. Bolsas de resina criam descontinuidades no tronco, enquanto a medula, formada no início do crescimento da árvore, consiste em madeira menos resistente e deve ser evitada em peças serradas. Estes fatores têm um impacto mais significativo em peças de madeira serrada em comparação com a madeira roliça não torneada. Portanto, é essencial abordar esses aspectos de forma adequada para garantir a eficiência e a durabilidade dessa madeira na construção civil. (ALTOÉ; DE ALVAREZ, 2007)

Analizando estas questões para a madeira do eucalipto, é possível observar comumente a apresentação de nós e rachaduras como suas principais imperfeições,

porém, é possível utilizar técnicas de poda para obter madeira com menor presença desses defeitos. Um estudo conduzido por Braz, Nutto e Mato (2017) sobre três espécies de eucalipto (*dunnii*, *grandis* e *saligna*) que foram submetidas à poda programada, revelou resultados satisfatórios no aparecimento destes aspectos, as espécies estudadas tinham entre 4 e 6 anos, indicando o uso de árvores jovens. Concluiu-se que a poda limita a presença de nós à zona central, aumentando a proporção da extensão da madeira limpa, livre de defeitos, o que demonstra um resultado com muito potencial para auxiliar ao produtor rural na execução da poda específica a ser realizada nas espécies que se pretendem futuros usos para construção. A todo modo, ao utilizar árvores jovens e de rápido crescimento, é esperado que haja defeitos na madeira, no entanto, essas imperfeições não comprometem inteiramente a capacidade estrutural da peça, desde que se compreenda a relação entre sua resistência e os defeitos identificados. (SILVA, 2019)

4. ESTUDO DE CASO: Ebiobambu – Visconde de Mauá – RJ

O modelo de plantação baseado na Sucessão Natural ocasiona em diversos possíveis cenários de acordo com o contexto que está estabelecido, as variações podem ocorrer por diversos motivos, destacando-se: escala da colheita; tipos de vegetação disponíveis; formas de realização do manejo da plantação e de seu entorno; clima; objetivos financeiros do produtor rural; dentre outros. A escolha da análise de um estudo de caso se justifica pelo intuito do trabalho de se aproximar da realidade do agricultor. Para que seja possível a utilização de materiais provindos de SAF's é necessária a busca pelas especificidades presentes em cada contexto que este tipo de colheita está presente, assim, se torna possível entender os desafios enfrentados pelo pequeno produtor rural em questão, contribuindo para a identificação das lacunas que possam vir a ser preenchidas com o auxílio de material científico de carácter didático, contribuindo para melhoria da produção do hábitat rural.

O presente trabalho utilizou como estudo de caso a Escola de Bioarquitetura e Centro de Pesquisa e Tecnologia Experimental em Bambu, localizada em Visconde de Mauá e inaugurada em 2002 pela arquiteta Celina Llerena. O projeto atua na preservação da biodiversidade e na recuperação de áreas degradadas com a produção de sistemas agroflorestais biodiversos e agroecológicos.

A escola realiza pesquisa e experimentos para difusão de conhecimentos sobre a aplicação de técnicas e seus aprimoramentos com materiais naturais e ecológicos como a terra, fibras, materiais recicláveis e especialmente o bambu. A figura 14 apresenta a primeira construção realizada no centro de pesquisa.

Figura 14 - Escola de Bioarquitetura e Centro de Pesquisa e Tecnologia Experimental em Bambu



Fonte: Fotografia C. Llerena

A escolha da localidade se deve ao carácter educacional e de divulgação científica que a escola já possui. A plantação da SAF foi iniciada em 2017 e no contexto do sistema de sucessão natural onde existem colonizadoras, pioneiras, secundárias e climáticas; a plantação da escola se encontra entre a primeira e segunda fase. A justificativa quanto ao interesse desta plantação se fundamenta pela possibilidade de análise ainda em sua fase inicial, possibilitando estudar os desafios que o pequeno produtor rural se depara no começo de sua jornada de trabalho.

O perfil montanhoso de Visconde de Mauá, localizado na região da Serra da Mantiqueira, é caracterizado por um relevo acidentado, coberto por remanescentes da Mata Atlântica e cortado por rios de importância ecológica, como o Rio Preto. Essa área, rica em biodiversidade e recursos hídricos, enfrenta desafios relacionados à degradação ambiental, especialmente devido à predominância de grandes extensões de pastagens. A criação de agroflorestas surge como uma solução estratégica e sustentável para a região, especialmente em áreas próximas ao Rio Preto, onde a preservação de matas ciliares é crucial para proteger a qualidade da água e evitar processos erosivos. A figura 15 mostra através do Google Earth a localização da escola e a localização da agrofloresta estudada nas proximidades das margens do Rio Preto.

Figura 15 - Imperfeições presentes em madeira roliça



Fonte: Adaptado do Google Earth

Na figura 15 é possível analisar o contraponto de áreas que ainda preservam vegetação nativa em relação a grandes extensões de terras dedicadas a pastagens. Essas áreas, embora úteis para a criação de gado, podem gerar degradação ambiental, incluindo compactação do solo, perda de nutrientes e redução da biodiversidade, caso não sejam manejadas de forma sustentável. A localização próxima ao Rio Preto (evidenciada pela linha azul na imagem) reforça a importância da conservação ambiental na área. A manutenção e ampliação da cobertura vegetal, principalmente nas margens do rio, são cruciais para evitar erosão, assoreamento e contaminação das águas, além de proteger a biodiversidade aquática e as funções ecológicas do corpo hídrico.

O polígono amarelo destaca a agrofloresta iniciada pela equipe Ebiobambu, se apresentando como um exemplo de uso sustentável da terra. Agroflorestas têm o potencial de restaurar áreas degradadas, aumentar a biodiversidade e oferecer produtos agrícolas diversificados. Elas também contribuem para a retenção de água no solo, redução da temperatura local e captura de carbono. A localização dessa área no contexto de pastagens extensas e próxima ao Rio Preto sugere uma iniciativa que pode servir como modelo para transformar terras de pasto em sistemas produtivos e ambientalmente equilibrados, destacando a importância da iniciativa para a região.

Para entender as demandas específicas da localidade, foi realizada entrevista com a coordenadora da escola/agrofloresta e através de seus relatos foram constatadas

informações importantes acerca das especificidades e dificuldades do contexto local, destacando:

(1) A plantação não se encontra no mesmo terreno da escola, existe carência de infraestrutura, o local em que as ferramentas são guardadas se localiza muito distante do local da colheita, se fazendo necessária a construção em carácter de urgência de um pequeno depósito ao lado da SAF;

(2) Assim como o Sítio Tamanduá-bandeira, apresentado no capítulo 2.4, a SAF de Mauá e seu entorno eram rodeados pela presença de uma espécie de capim muito comum na região, o capim *Brachiaria*, seu manejo se faz necessário periodicamente, a matéria orgânica resultante deste processo é em partes utilizada para própria fertilização do solo da SAF e em parte descartada;

(3) A SAF encontra-se com diversas espécies plantadas ainda em fase de crescimento, podendo destacar gramíneas como bambus da espécie *Dendrocalamus Asper* (Bambu Gigante), *Phyllostachys Makinoi* e *Phyllostachys Pubescens* (Bambu Mossô), diversos tipos de palmeiras, vegetações da família *Arecaceae*, como a *Euterpe edulis Martius* (Juçara) e a *Attalea Funifera* (Piaçava), vegetações lenhosas como o Eucalipto *Corymbia Citriodora* (eucalipto-limão) e vegetações frutíferas como *Musa spp* (banana) e *Persea Americana Mill* (abacate).

(4) Já havia sido realizado anteriormente tentativas de fabricação de adobes com a terra local sem adição de fibras, porém, notou-se o aparecimento de muitas fissuras durante o processo de secagem.

(5) Vegetações frutíferas e lenhosas da SAF não poderiam ser utilizadas no momento como material de construção, os exemplares não se encontram em fase adulta e sua retirada atrapalharia o desenvolvimento completo do sistema, o que não impede a utilização futura destes materiais.

(6) Faz parte do projeto da escola, o incentivo a autonomia da plantação em relação a dinâmica do centro de pesquisa, prevendo que no futuro, exista a construção de uma moradia para que seja possível a dedicação exclusiva de uma família agricultora para gerir a plantação de maneira independente;

(7) Outra demanda futura é a construção de dependências maiores próximas a agrofloresta, possibilitando que além do depósito dos materiais exista também um galpão para armazenamento, estocagem e distribuição da colheita.

(8) Um problema destacado na região é a recorrente falta de energia elétrica, investir em uma alternativa para minimizar os impactos da falta de luz é um objetivo da escola, na tentativa de promover uma emancipação e independência praticamente completa do sistema agroflorestal.

Reunindo as informações coletadas na entrevista, o trabalho se guarnece de desafios para que seja possível o estudo da conexão entre a agrofloresta e a arquitetura no intuito de promover possíveis soluções para as dificuldades e desafios apresentados. A figura 16 mostra uma representação gráfica ilustrativa da área de recorte escolhida para análise, acima desta figura o trabalho representará o crescimento tanto da plantação quanto das construções auxiliares ao sistema.

Figura 16 – Ilustração da área de plantio da Agrofloresta



Fonte: Autor

Nesta primeira representação vemos somente uma área de terra sem o avistamento de vegetações nativas, representando o cenário observado pela equipe da Ebiobambu há 6 anos atrás, 2018, no início do projeto de plantio agroflorestal, se deparando com terras degradadas por anos de pastagens sem a devida responsabilidade ambiental. No decorrer dos próximos capítulos veremos essa mesma ilustração se desenvolvendo através dos anos de colheita, com representações das espécies que estão sendo cultivadas na SAF, juntamente com propostas de intervenções construtivas vinculadas ao desenvolvimento da colheita e da família agricultora que será responsável pelo sistema.

5. EXPERIMENTAÇÃO

Com base nas informações obtidas por meio da revisão bibliográfica e do estudo de caso, foram selecionados os materiais e métodos construtivos a serem investigados na pesquisa. O critério de escolha considerou a disponibilidade atual ou futura da SAF em análise, bem como os benefícios construtivos e ambientais associados à incorporação desses materiais em construções.

Outro critério metodológico que pautou a escolha, se refere ao período temporal em que cada material está disponível de acordo com o amadurecimento e processo de sucessão da agrofloresta, sendo possível destacarmos diferentes proveitos em diferentes períodos da plantação.

Nos próximos subcapítulos, serão apresentados os materiais de pesquisa, destacando sua importância específica no contexto do sistema agroflorestal, identificando o intervalo temporal adequado para sua utilização e a experimentação de uma possível técnica construtiva que incorpore o material no crescimento das instalações necessárias para a vida da família agricultora.

Foram definidos 4 recortes temporais para a agrofloresta estudada, baseados nas diferentes espécies de vegetação que se enquadram em cada amostra de tempo. Além disso foi realizada uma sugestão de intervenção construtiva levando em consideração as demandas apresentadas na entrevista com a equipe juntamente com a disponibilidade de material provindo de cada recorte estabelecido, sendo definidos os seguintes subcapítulos: SAFs de 0 a 1 ano: Adobe com fibras vegetais para pequenas construções; SAFs de 1 a 5 anos: O bambu para sistemas de cobertura, SAFs de 5 a 10 anos: Estruturas de eucalipto roliço para galpões e SAFs de 10 a 30 anos: Biomassa para geração de energia elétrica.

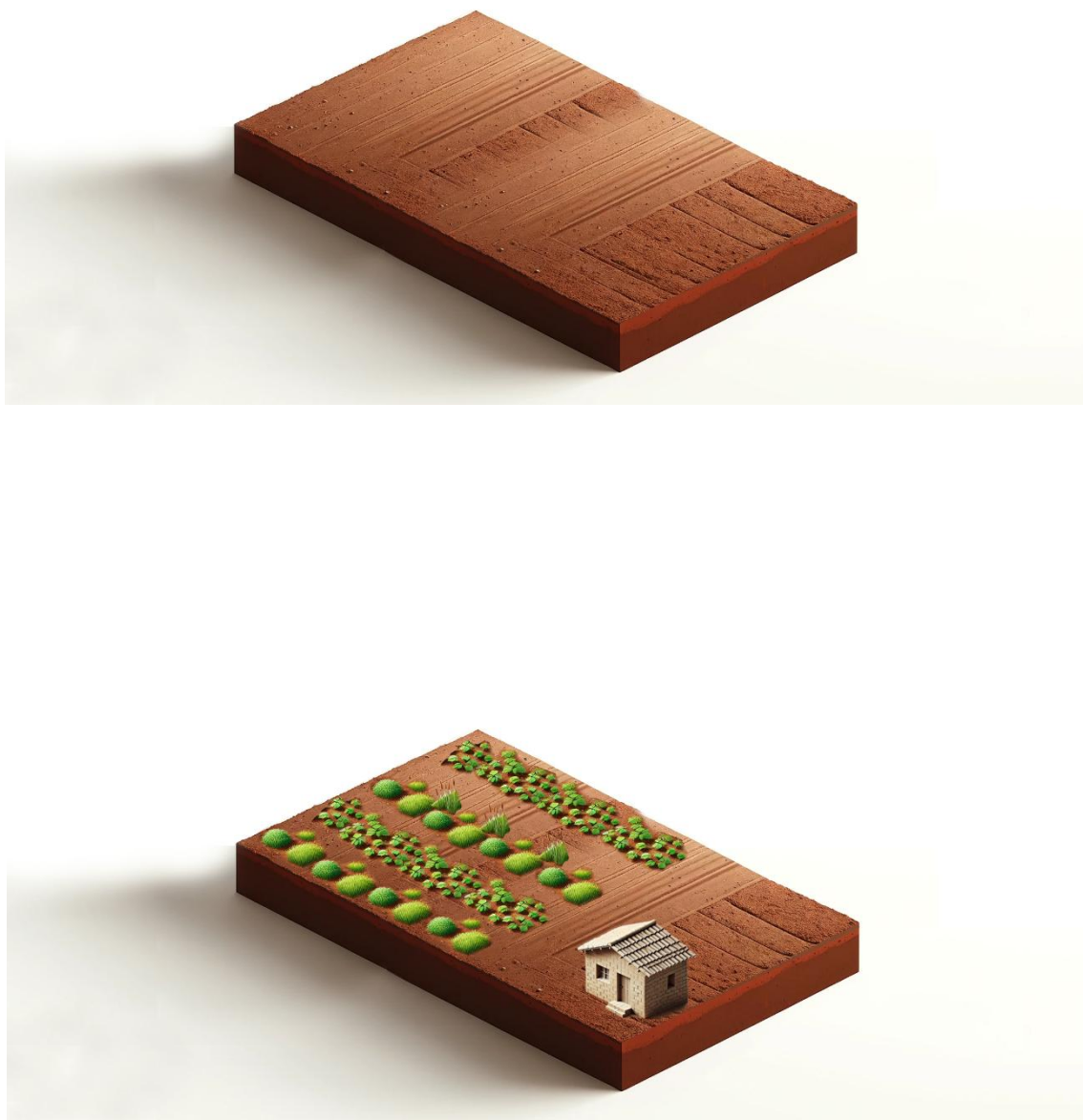
5.1. SAFs de 0 a 1 ano: Adobe com fibras vegetais para pequenas construções

O primeiro ciclo de sucessão recortado na pesquisa fica entre os primeiros meses até um ano da plantação agroflorestal. No cenário do estudo de caso, assim como nos cenários onde SAFs são introduzidas em ambientes degradados, existe pouca disponibilidade de material orgânico, nesta fase da plantação as vegetações colonizadoras têm vida muito curta e têm a função de servir como uma espécie de placenta protetora do solo, dando início ao processo da recuperação da fertilidade e servindo como base para aparição futuras das vegetações pioneiras.

Nos primeiros meses de implantação do sistema agroflorestal, é essencial a presença constante do pequeno produtor rural para realizar o manejo adequado, com prioridade para a produção de biomassa destinada à reincorporação no solo. Nesse contexto, a prática regular de podas e roçadas torna-se indispensável. Para apoiar essas atividades, faz-se necessária a criação de uma pequena infraestrutura de suporte, como um espaço para armazenamento de ferramentas e materiais, e/ou de um abrigo que ofereça conforto e proteção ao produtor durante o trabalho.

A figura 17 mostra o passar o tempo e desenvolvimento desse sistema, elencando vegetações presentes na SAF do estudo de caso durante esse intervalo de tempo, vinculando as possibilidades de materiais para uso em uma pequena construção temporária de apoio ao agricultor.

Figura 17 – Ilustração da área de plantio da Agrofloresta



Fonte: Autor

Partindo das informações coletadas através da entrevista, foram escolhidos os materiais e técnicas construtivas que seriam abordados na pesquisa. Para a primeira etapa do estudo a terra foi escolhida como material base devido a toda sua importância sociocultural e ambiental; à sua grande disponibilidade; pelo potencial didático que permite analisar de maneira extremamente visual seus diferentes resultados quando a empregamos como material construtivo; e por sua capacidade de aceitar que outros materiais naturais como fibras, esterco e pelos animais possam ser incorporados ao seu uso potencializando seus resultados (FARIA; NEVES, 2011) o que permite também a possibilidade de inclusão de outros rejeitos naturais provenientes de SAF's.

No contexto referente as pequenas produções rurais com o recorte em agroflorestas podemos destacar que a terra, como matéria base, é o material fundamental que permeia todas as plantações pertencentes a esse sistema no Brasil. A terra é essencial para o plantio, e foi/é, essencial para o habitar da raça humana. O uso de técnicas construtivas com base na terra se justifica como ótimo ponto de partida para os cenários abordados nesta pesquisa.

Aprofundamento de estudos desta conexão podem ajudar ao pequeno agricultor a encontrar soluções para a utilização o material primordial para seu sustento também como material primordial para a construção de seu habitar. Em cenários de novas plantações, onde o sistema ainda não tenha atingido sua fase adulta de abundância se faz necessário a utilização de material que não atrapalhe o desenvolvimento de uma agrofloresta ainda em adaptação, levantando a terra com uma ótima opção para garantir possíveis autoconstruções rurais.

É necessário analisar as condições locais (tipo de solo, relevo, demandas espaciais) e sociais (tipo de construção vernacular local, conhecimento construtivo da mão de obra disponível) de cada SAF para encontrar o método construtivo em terra ideal para cada situação, sempre privilegiando a disponibilidade de material disponível e os resultados pretendidos.

A utilização da terra se faz possível durante todo o ciclo de vida da plantação, e se torna uma opção ainda mais relevante durante seus primeiros meses de plantio, tendo em vista a pouca oferta de material em uma fase tão inicial de colheita.

Para construção com terra, em diversas situações, pode ser indicada a inclusão de fibras vegetais em sua produção, representando uma alternativa sustentável e eficiente para a construção civil, especialmente em contextos rurais e de baixa tecnologia. Essas fibras, como sisal, capim, palha de arroz, fibra de coco e bambu, podem ser incorporadas à mistura de argila, água e outros agregados naturais, melhorando significativamente as propriedades mecânicas do material. Sua adição contribui para o aumento da resistência à tração, além de reduzir o risco de fissuras durante o processo de secagem. Além disso, o uso de fibras vegetais é uma estratégia de baixo custo e de impacto ambiental reduzido, já que muitas dessas fibras são subprodutos da própria agrofloresta. Assim, o emprego da terra reforçada com fibras vegetais não apenas melhora a durabilidade e o desempenho térmico das construções, mas também promove a valorização de recursos naturais locais e incentiva práticas construtivas sustentáveis e acessíveis.

Nos Sistemas Agroflorestais, uma variedade impressionante de fibras vegetais é cultivada de forma sustentável. Essas fibras, provenientes de plantas como o capim, sisal, juta, cânhamo, bambu, palmeiras e linho, desempenham papéis essenciais em diversas indústrias. O sisal, por exemplo, é conhecido por sua resistência e durabilidade, sendo frequentemente utilizado na fabricação de cordas e tapetes. A juta, por sua vez, é valorizada pela sua versatilidade e é amplamente empregada em sacos e embalagens. O cânhamo é uma fibra notável devido à sua resistência, sendo utilizada na produção de tecidos e papéis. O bambu, além de suas aplicações estruturais, também oferece fibras que são empregadas em tecelagem e na fabricação de papel. Por fim, o linho é apreciado por sua suavidade e é transformado em tecidos de alta qualidade. A diversidade de fibras vegetais produzidas nos Sistemas Agroflorestais não apenas promove uma economia sustentável, mas também evidencia a importância desses sistemas na preservação e aproveitamento responsável dos recursos naturais.

A questão a ser analisada na utilização destas fibras é que sistemas agroflorestais seguem seu desenvolvimento através de ciclos de sucessão, portanto, mesmo que seja possível extrair uma extensa gama de fibra vegetais da mesma plantação, estas não estarão sempre disponíveis em todas as fases de colheita.

Espécies nativas como gramíneas estarão presentes desde o início da implementação da plantação, possuem ciclo curto, e muitas vezes serão “espécies de serviço” do sistema, atuando no fornecimento de matéria orgânica que ajudará na composição ideal do solo para plantio. Entretanto, considerando a necessidade de segurança alimentar e a geração

de renda dos agricultores familiares, é indispensável incluir como componentes da SAF espécies com capacidade de gerar ingressos também a médio e longo prazo.

Das espécies de ciclo médio a longo de produção, observamos o ingresso de diversos tipos de palmeiras comerciais como o palmito juçara, açaí, pupunha e etc... Com isso observamos que no mesmo sistema podemos obter diferentes tipos fibras que possam ser usadas na construção civil.

Esta pesquisa se propõe a analisar a utilização de fibras disponíveis no início da implantação do sistema, elencando sua utilização para beneficiar compósitos de terra. Como já citado no texto, em um primeiro estágio, as plantações privilegiam vegetações de rápido crescimento para produção de matéria orgânica que será responsável pela biomassa produzida através de seu crescimento e sua constante poda oferecendo um fornecimento contínuo de nutrientes e cobertura do solo. (LIMA, 2021)

Assim, a fibra escolhida para incorporação aos compósitos foi o capim *Brachiaria*, selecionada devido à alta quantidade produzida e descartada, que tem como principais características resistência às cigarrinhas-das-pastagens, alta produção de forragem, persistência, boa capacidade de rebrota, tolerância ao frio, à seca e ao fogo. Exige solos bem drenados, de média a alta fertilidade, onde produz de 8 a 20 toneladas de matéria seca por hectare, por ano. (SILVA et al., 2008) Deste modo, o rejeito produzido pelo manejo do Capim *Brachiaria* se enquadraria em um contexto de SAFs de até um ano de idade, onde já nos primeiros meses seria possível a utilização dessa matéria orgânica produzida pela gramínea com função de colonizadora. Sendo assim, por mais que a agrofloresta do estudo de caso já esteja em seu 6 ano de amadurecimento, a escolha destes materiais coloca o recorte do experimento em lugar comum a outras agroflorestas mais jovens.

Para conectar os dois materiais escolhidos foi definida a técnica construtiva adobe, justificando-se pela aproximação já existente do agricultor local em tentativas de uso anteriores que obtiveram resultados insatisfatórios e também pela simplicidade de sua execução. Outra característica relevante da técnica é sua versatilidade, possibilitando seu uso em diversos componentes da construção.

A matéria-prima básica para a produção de adobe é a terra. No entanto, dependendo de sua composição que pode variar de acordo com o local de coleta, faz-se necessário agregar outros materiais, como adições ou estabilizantes. É comum a utilização de palhas

para evitar a fissuração na secagem do bloco (FARIA; NEVES, 2011) assim como a patologia mencionada e descrita pela coordenadora da Ebiobambu na produção de adobes na região.

Para análise do traço com a adição da fibra vegetal na fabricação dos blocos, o estudo se propõe a elencar metodologia que ofereça conhecimento científico literário que não se distancie da comunidade rural. O propósito experimental do trabalho busca carácter didático que possibilite a simples replicação pelo pequeno produtor rural visando seu melhor entendimento do material a ser utilizado, contribuindo para sistematização e avanço de técnicas utilizadas em autoconstruções rurais.

A partir das premissas citadas, o teste de Carazas foi definido como exercício experimental a ser desenvolvido e apresentado. O teste teve sua primeira realização no ano de 2001, durante a formação DSA – CRAterre ENSAG, com o objetivo de desenvolver o exercício de correlação das três fases da matéria terrestre. Com o passar do tempo o exercício se tornou uma ferramenta pedagógica auxiliar a compreensão da natureza trifásica da matéria terrestre e reconhecer suas variações qualitativas e quantitativas, utilizando todos os nossos sentidos: visão, olfato, tato, além de fazer medições e cálculos simples. (CARAZAZ AEDO, 2017)

Este exercício pode ser usado não somente por arquitetos, construtores e engenheiros, mas também é útil para desenvolver ações de conscientização da população e principalmente no setor educacional. A simplicidade do exercício permite que, a partir do contato com a matéria terrestre, possam ser extrapolados diversos conteúdos pedagógicos escolares no campo da física e da mecânica dos solos, bem como da matemática e da geologia. Sua simples execução, permite que o teste possa ultrapassar as barreiras da academia e se tornar ferramenta replicável e útil no contexto da autoconstrução, permitindo que o construtor possa por meio de simples testes conhecer melhor as propriedades da terra que pretende trabalhar potencializando seus desempenhos construtivos.

O teste consiste na execução de uma matriz composta por diversos corpos de prova com diferentes proporções de água e terra, podendo também contemplar a presença de aditivos como cimento e fibras. Através da disposição de todos esses corpos de prova é possível analisar de maneira extremamente visual e comparativa a influência das proporções de cada elemento nos resultados físicos dos blocos de terra. (CARAZAS AEDO, 2017). A figura 18 mostra o exercício realizado, sendo possível analisar de maneira clara os estados físicos da terra trabalhada:

Figura 18 - Teste de Carazas



Fonte: Carazas Aedo (2017)

São esperados resultados que demonstrem a influência das proporções de água, fibra do capim e terra de maneira didática, visual e que utilize pouco tempo e material para sua execução.

Foi realizada a coleta de material para teste em laboratório diretamente da agrofloresta de Visconde de Mauá, A figura 19 registra a coleta de material para teste em laboratório.

Figura 19 - Registros da coleta de material



Fonte: Foto autor

Após a coleta de material bruto, foi realizada a peneiragem da terra com peneira de 4,8mm para retirada de pedras, raízes, plásticos e outros elementos grandes não indicados para confecção dos adobes. (FARIA; NEVES, 2011)

Para analisar a quantidade de água presente na amostra coletada, foram separadas duas porções de terra para secagem em estufa a 80°e após 12 horas de secagem as amostras se comportaram segundo a tabela 2:

Tabela 2- Massa das amostras em relação ao processo de secagem

	Amostra 1	Amostra 2
Massa úmida (g)	60,435g	57,210g
Massa seca (g)	57,127g	54,449g
Umidade (%)	5,79 %	5,07 %
Umidade média (%)	5,43 %	

Fonte: Autor

Com a análise dos resultados foi obtido o percentual médio de 5,43% de umidade presente na terra coletada.

Como demonstrado na figura 20, o preparo das fibras foi realizado através do corte em pedaços de 5cm a 10cm comprimento, o tamanho escolhido foi baseado em estudos anteriores (FARIA; NEVES, 2011).

Figura 20 - Medição e corte das fibras de capim



Fonte: Autor

O teste de Carazas tem como objetivo inicial auxiliar a compreensão da natureza trifásica da matéria terrestre e reconhecer suas variações qualitativas e quantitativas, porém, a natureza do exercício permite o desenvolvimento de outras variantes ou testes complementares, onde o a terra possui aditivo ou estabilizante natural, como fibras ou cal (AEDO, 2017). No contexto analisado, foi realizada uma matriz com principal objetivo a observação da influência da água e das fibras vegetais do capim *Brachiaria* nas proporções de terra na confecção dos blocos.

Foram utilizadas formas cúbicas de madeira com 15cm de arestas e foram realizados 7 corpos de provas com proporções distintas entre terra, água e fibra. Para o cálculo das proporções de cada material, todo trabalho foi referenciado de acordo com a massa de cada item. A matriz do teste foi composta com amostras sem adição de água e fibras, amostras com 0,5% e 1% em peso de fibras vegetais e amostras com 0,55kg e 0,90kg de água. (RAMAKRISHNAN,2020)

Para o cálculo das proporções foi utilizado como referência o primeiro corpo de prova que consistia somente de terra não compactada. Após o enchimento da forma utilizada foi constatado a massa de 2,51kg de terra.

Os cruzamentos da tabela 3 abaixo marcados com X, representam as proporções que serão executadas nos adobes.

Tabela 3 - Proporções que serão executadas

	0,00kg de água	0,55kg de água	0,90kg de água
0% fibras	x	x	x
0,5%(0,013kg) fibras		x	x
1%(0,0251kg) fibras		x	x

Fonte: Autor

Seguindo a matriz definida de acordo com os conceitos abordados pelo Teste de Carazas, o primeiro bloco executado foi o de composição exclusivamente de terra. Foi possível analisar que mesmo com uma umidade natural presente na amostra em uma quantidade relativamente alta (5,43%) não foi possível desinformar o bloco mantendo as proporções da forma, a água presente de maneira natural não foi suficiente para fornecer coesão a mistura, a figura 21 demonstra o resultado:

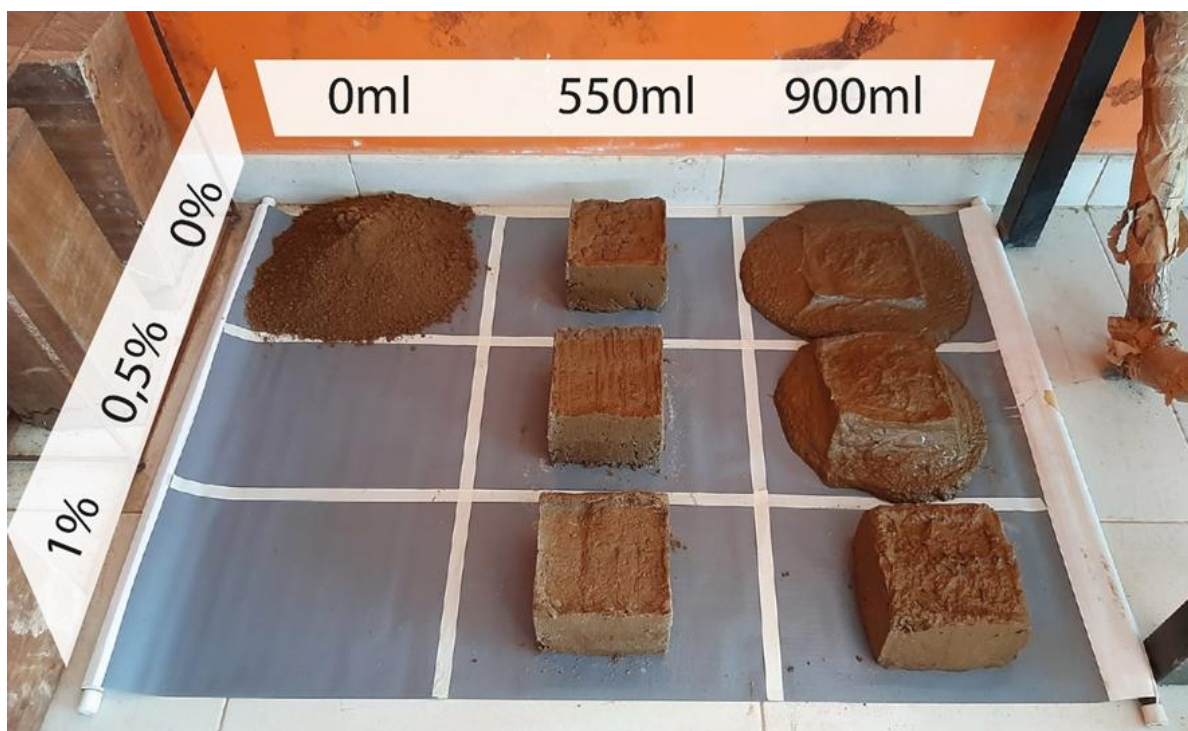
Figura 21 - Confeccção do primeiro Adobe



Fonte: Autor

Em seguida foram realizados os blocos com acréscimos de fibras e água. Após a disposição de todas as amostras executadas foi possível analisar comparativamente diversos resultados relevantes para o objetivo do trabalho, assim como representado na figura 22.

Figura 22 - Matriz Carazas com todos os blocos realizados



Fonte: Autor

5.1.1. Resultados

Com o teste foi possível demonstrar de maneira extremamente didática a influência da água no estado físico da terra. Concentrando a primeira análise somente na linha de amostras com 0% de fibras podemos perceber de maneira evidente este comportamento.

Partindo do ponto sem acréscimo de água onde não era possível dar forma ao bloco podemos perceber que com o acréscimo de 550ml (0,55kg) de água já foi possível modificar por completo o estado do experimento, possibilitando a execução de uma pasta de terra com plasticidade suficiente para preencher toda a forma e com coesão necessária para manter as dimensões do bloco, porém, continuando com o acréscimo de água, a terra entra em um estado viscoso acima do limite desejável para realização do bloco, não permitindo a execução da forma esperada.

Ampliando a análise para as amostras acrescidas de fibra, é notável a influência das mesmas na absorção da água adicionada ao bloco. Se compararmos a amostra com 900ml e 0% de fibras com a amostra que possui 900ml de água em conjunto com 1% de fibra podemos atestar a grande diferença dos resultados, onde, apesar de apresentarem a mesma quantidade de água, uma amostra conseguiu aderir a forma do bloco e a outra entrou em uma fase mais líquida impossibilitando a execução do adobe, isso é resultado da presença das fibras vegetais, que por sua vez absorvem grande quantidade da água adicionada e necessitam que as proporções da mistura sejam readequadas para que seja possível encontrar uma proporção ótima para execução de futuros adobes.

Ainda em relação a proporção ótima para execução dos blocos, percebemos que os teores variam de acordo com a quantidade de material vegetal acrescido, podemos analisar, por exemplo, a amostra que possui 0,5% de fibras e 550 ml de água em comparação com a amostra que possui a mesma quantidade de fibras porém com 900ml de água, a comparação demonstra que, para essa quantidade de fibras, a amostra com menor teor de água apresenta um estado mais favorável para execução do bloco e em contrapartida as amostras que apresentam o teor de 1% de fibras necessitam de mais água para que a proporção ideal possa ser atingida.

Comparando o bloco com 550ml de água sem adições de fibras com o bloco com o mesmo teor de água, porém com a adição de 0,5% fibras podemos perceber uma visual diferença no comportamento durante a fase de secagem. O bloco sem a presença de fibras apresentou uma maior aparência de fissurações, em contrapartida o bloco que possuía as fibras do capim tinha aspecto mais uniforme e liso. A comparação pode ser vista na figura 23.

Figura 23 - Comparação fissuração bloco com acréscimo de fibras(esquerda) com bloco sem acréscimo de fibras(direita)



Fonte: Autor

Os resultados obtidos a partir dos testes evidenciam a importância crucial de compreender o solo e as fibras utilizadas na construção. Notavelmente, os blocos com adição de fibras apresentaram menos fissuração aparente durante o processo de secagem, evidenciando que existe influência do acréscimo do capim *Brachiaria*. O resultado carece de mais aprofundamento de pesquisas para atestar a viabilidade da utilização dos blocos como estruturas de terra, testes futuros de desempenho mecânico através do rompimento dos blocos poderão atestar a influência dos traços estudados nas resistências de cada adobe. De todo modo, o objetivo inicial do trabalho se recorta na produção de resultados visuais e empíricos com potencial didático, concluindo que com pequena quantidade de material (aproximadamente 18kg de terra, 0,08kg de capim e 4,35l de água) seja possível realizar o exercício que leva experimentação de simples replicação visando contribuir para aproximação e melhor entendimento do pequeno construtor rural com o material utilizado diversas vezes em suas autoconstruções.

É importante destacar que nenhum instrumento ou ferramenta que não exista no campo foi utilizado para realização do experimento, abrindo a possibilidade de novas pesquisas que visem reproduzir o exercício em conjunto com a comunidade rural, transportando a execução do laboratório para o campo, analisando o desempenho e relevância didática da atividade.

O estudo demonstra a necessidade de aproximação com cada caso específico, as SAF's promovem a possibilidade de diversos tipos de plantações, e para analisar o potencial construtivo dos rejeitos de cada exemplar, é necessário entender seus contextos específicos juntamente com as questões sociais, desafios, demandas e circunstâncias de cada agricultor.

Outro fator relevante é a idade e amadurecimento da SAF estudada, de acordo com a fase em que a plantação se encontra os resíduos que podem ser aproveitados são alterados, isso permite que se criem possíveis usos e resultados construtivos distintos ao decorrer da vida e desenvolvimento da plantação.

A SAF analisada na pesquisa se encontra em fase inicial de sucessão e a mesma SAF no futuro tem potencial para fornecer outros materiais naturais (bambus, fibras de piaçava e eucaliptos, por exemplo) que possibilitem a pesquisa de novas soluções construtivas complementares ao estudo no contexto atual. Esta especificidade das SAF's em contraponto a monoculturas, permite o estudo de diversos materiais ligados a este tipo de sistema, tendo em vista que com o desenvolver da plantação, é possível que as construções guarneçadas de matéria prima derivada do mesmo sistema também possam se desenvolver de maneira simbiótica.

5.2. SAFs de 1 a 5 anos: O bambu para sistemas de cobertura.

Avançando no desenvolvimento da plantação, faremos outro recorte temporal, desta vez compreendido entre o primeiro e o quinto ano de colheita. Nesta fase outras vegetações começam a atingir suas fases maduras no sistema, sendo possível destacarmos espécies como bambus, palmeiras além de algumas vegetações frutíferas.

Com o amadurecimento de todo o sistema, o pequeno produtor rural começa a sentir os primeiros resultados econômicos da plantação, sendo possível o comércio de produtos como feijão, banana, abacate, hortaliças, milho, açaí, acerola e tubérculos em geral.

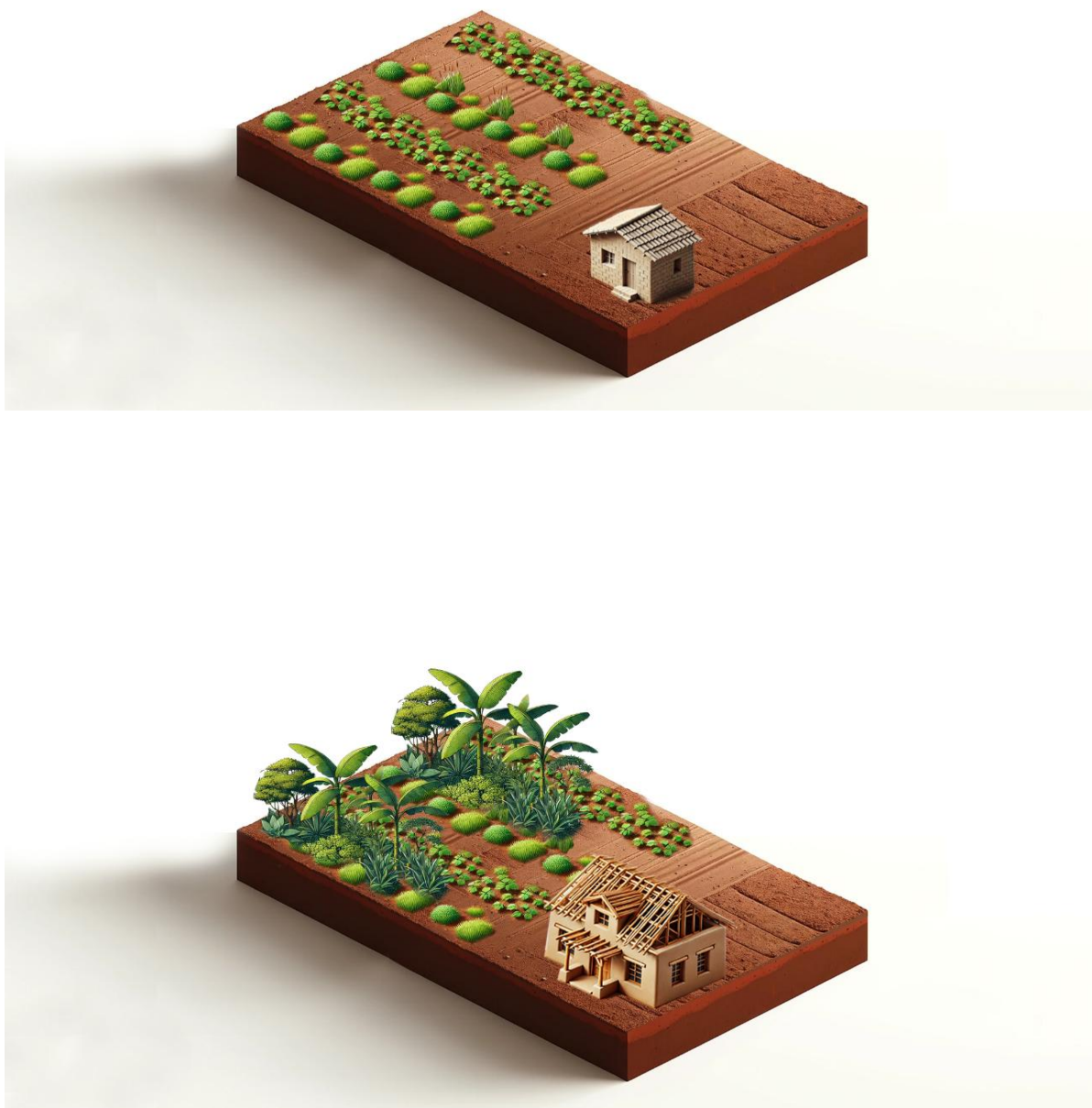
SAFs com mais de um ano de idade começam a atingir sua viabilidade econômica permitindo que o agricultor alcance sua independência alimentar e financeira. Entretanto por mais que essas conquistas já sejam extremamente relevantes para o contexto de vida

dessa família rural, o problema da habitação ainda é uma barreira importante para sua total emancipação.

Portanto, nesta etapa é importante uma atenção focada na habitação rural que abrigará essa pequena família responsável pelo manejo da agrofloresta. Levando em consideração o cenário encontrado no estudo de caso, enquadraremos a SAF estudada neste ciclo temporal, onde a equipe da Ebiobambu planeja desvincular a plantação com o centro de pesquisa, pretendendo destinar uma equipe específica para manejar a plantação.

Tendo em vista tanto o cenário típico de uma pequena família agricultora quanto o cenário do estudo de caso, a urgência pela habitação se coloca como foco principal do recorte definido, portanto, é relevante a análise de materiais produzidos pela SAF que possam auxiliar neste processo de independência. Nesta fase já é possível a utilização da terra com fibra para produção de vedações, porém, neste momento já podem ser colhidos bambus que tem propriedades mecânicas que os colocam como excelente alternativa para produção de sistemas de cobertura para habitações rurais. A figura 24 mostra o desenvolvimento da SAF durante este período, juntamente com as opções de colheita e de materiais possíveis para o desenvolvimento das construções de apoio a plantação.

Figura 24 – Ilustração da área de plantio da Agrofloresta 1 a 5 anos.



Fonte: Autor

É de importante constatação analisarmos como que o crescimento da plantação está vinculado de maneira simbiótica ao crescimento das construções que abrigam a família rural, neste momento já é possível criar paralelos que demonstram a sintropia de todo sistema, onde a família cresce junto com a plantação, levando a reboque a estabilidade alimentar, financeira e por fim a emancipação rural.

Conforme a família cresce, as demandas e construções também precisam se desenvolver, nesta fase um ponto de atenção são os sistemas de cobertura que desempenham um papel fundamental na proteção das habitações ao longo da história. Inicialmente utilizava-se materiais locais como terra e palha, quando se buscava essencialmente, proteção contra as intempéries. Atualmente, materiais como telhas de barro, concreto, metais, vidro, manta asfáltica e fibrocimento são os mais comuns, amplamente disponíveis nas áreas urbanas, no entanto, em ambientes rurais, o acesso a esses materiais por diversas vezes é limitado, levando ao uso de opções mais acessíveis, que muitas vezes não se integram ao contexto sociocultural e histórico. Integração essa, que ao longo dos séculos, fez com que comunidades humanas desenvolvessem uma diversidade de estilos de habitação, adaptados às particularidades dos ambientes e à cultura local.

A diminuição cada vez mais presente do abandono das práticas vernaculares mostram que muitos desses conhecimentos tradicionais foram gradualmente preteridos em favor da promoção de ideias como globalização, padronização e modernização, privilegiando materiais e técnicas construtivas predominantes visando a busca de lucro e eficiência a curto prazo, em detrimento de considerações mais amplas de sustentabilidade e bem-estar social. (RABELO, et al.,2016)

É crucial incorporar questões habitacionais para as construções rurais nas políticas públicas, o que implica em uma visão do mundo onde o espaço físico é tratado como um local através de uma perspectiva que entrelaça o ser humano e o ambiente. Essa abordagem valoriza a importância do indivíduo, seu ambiente de vida e promove a arquitetura simbólica, buscando apreciar as características sensoriais dos materiais e ambientes, enfatizando a singularidade do local.

Entretanto, é notável que as coberturas, que atualmente assumem novas funções nas construções contemporâneas, desempenhando um papel estético significativo na

identidade e estilo arquitetônico das edificações, frequentemente não conseguem cumprir adequadamente suas funções primordiais nas construções rurais. Muitas habitações localizadas fora dos centros urbanos apresentam condições precárias de proteção, não oferecendo a segurança e resguardo necessários contra as intempéries. Nesse contexto, a proposta de Pinheiro *et al.* (2012) de diretrizes para políticas públicas que fomentem a produção de telhas de madeira por comunidades rurais na Amazônia ganha destaque, evidenciando a importância de mais projetos neste sentido, valorizando técnicas e materiais locais que já se provaram eficientes em termos construtivos e importantes em caráter simbólico.

Em seu estudo, Rabelo, *et al.* (2016) versa sobre diversas coberturas de construções rurais que utilizam técnicas e materiais locais, onde, geralmente, são construídas pelos próprios moradores, em sistema de mutirão e, muitas vezes, sem acompanhamento técnico. Essas soluções permitem sua produção artesanal, no próprio local, com menor custo, maior facilidade de acesso e apropriação da técnica pelo agricultor. Rabelo analisa estes materiais e os categoriza em termos de toxicidade, otimização de recursos naturais, reciclabilidade, energia incorporada, vida útil, impacto de transporte, geração de resíduo, reuso, manutenibilidade, pegada de água azul, número de materiais e biodegradabilidade. Como resultados, foram encontradas a cerâmica não queimada, a cascaje, as coberturas de formato abobadado, coberturas verdes, telhas de madeira, de bambu e de palha, em ordem decrescente de impacto ambiental.

Esses resultados destacam o potencial do bambu e da palha, mas também ressaltam que cada tipo de cobertura possui vantagens específicas, dependendo do contexto local e da finalidade. Essa diversidade de alternativas oferece soluções viáveis para o sistema de cobertura em habitações rurais, podendo ser implementadas como tecnologias sociais.

Em relação ao estudo de caso de Visconde de Mauá, é possível destacar que a agrofloresta em questão já apresenta bambus e palmeiras em estágio maduro, frisando que esses dois tipos de vegetação já requerem manejo desde os primeiros anos de plantação. Em Mauá as palmeiras piaçava e juçara oferecem frutos durante suas épocas de colheita além de serem utilizadas como produtoras de matéria orgânica para o solo do sistema e os bambu agem como quebra-ventos e demarcadores de propriedade.

Devido as suas propriedades morfológicas e seu rápido crescimento, os bambus são recorrentemente utilizados em SAFs diversas. Seu ciclo de crescimento se dá no médio e curto prazo e são espécies prioritárias perenes dentro do sistema, utilizadas para

o autoconsumo, visando a segurança e soberania alimentar da família agricultora e para a geração e apropriação da renda com sua comercialização.

Além disso, bambus podem também assumir outras funções dentro da plantação, como a de “Quebra-ventos”. Os quebra-ventos devem ser alinhados perpendicularmente aos ventos dominantes da região e não formar uma barreira muito fechada ou muito densa. O quebra-vento deve ser “permeável”, permitindo que parte do vento passe por entre suas copas, por isso, convém utilizar plantas “flexíveis”, como por exemplo o próprio bambu. (MAY; TROVATTO, 2008)

Através de seu rápido crescimento e multiplicação, o bambu plantado em sistemas agroflorestais pode servir como importante aliado na busca por materiais naturais que possibilitem sua utilização construtiva pelo pequeno agricultor. Bambus podem fornecer material para construção de acabamentos, estruturas, esteiras, ripas, coberturas e diversas outros componentes construtivos. Neste recorte temporal a pesquisa destacou o bambu como material construtivo se propondo a analisar como a família agricultora poderia utilizar os colmos de bambu produzidos em sua agrofloresta como peças estruturais de cobertura, enquadrando seu uso em ciclos médios de produção, respeitando a boa prática construtiva no aproveitamento somente de varas maduras de bambu que necessitam de no mínimo 3 anos para serem manejadas.

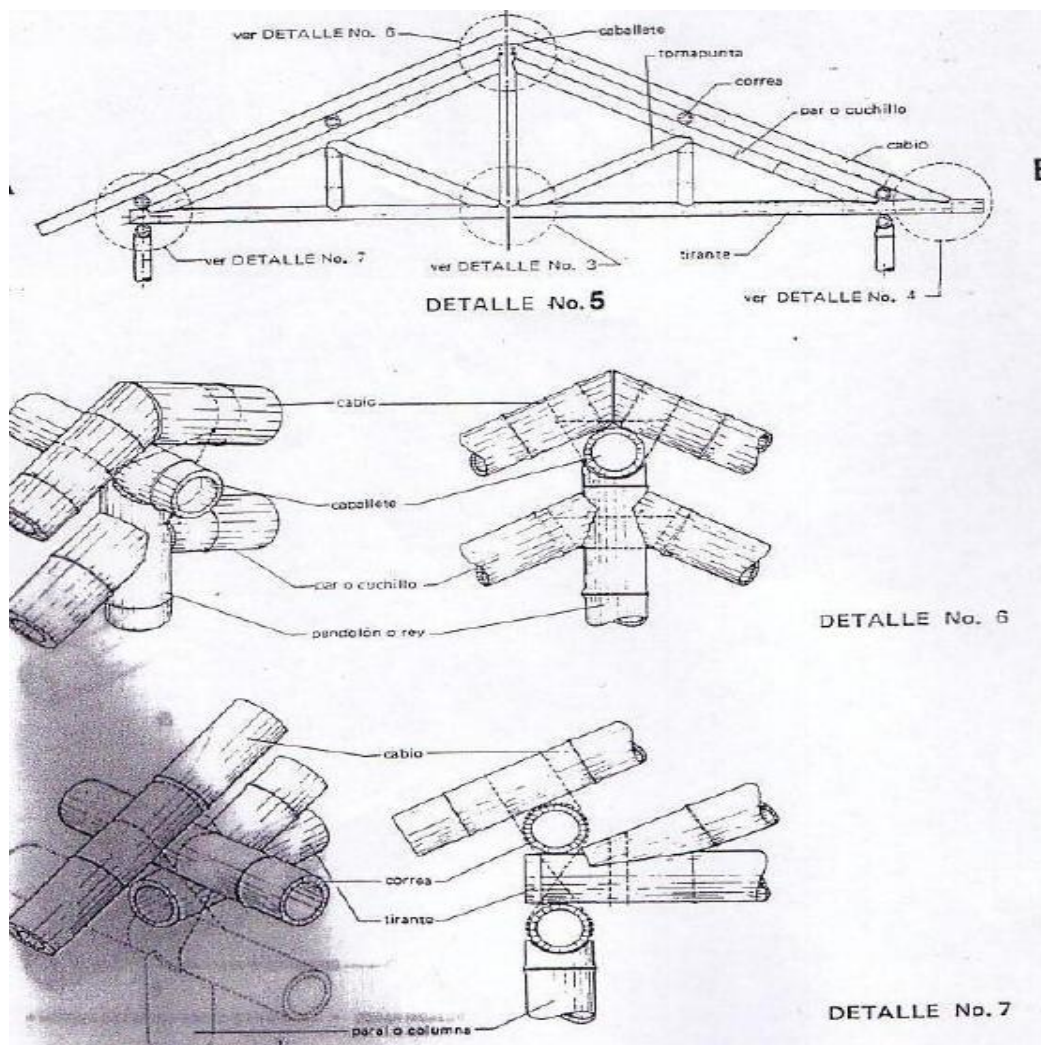
Como metodologia serão utilizadas e investigadas as técnicas presentes na obra de López (1981) em *“Manual de Construcción com Bambu”* com o objetivo de analisar suas replicações no cenário estudado e vincular as possibilidades de mesclar as técnicas construtivas abordadas.

A escolha da metodologia apresentada por López (1981) justifica-se pela sua pertinência ao tema da autoconstrução em habitações rurais. O manual oferece diretrizes práticas e acessíveis, voltadas para o uso eficiente e sustentável do bambu, priorizando técnicas de baixo custo adaptadas às condições de comunidades rurais com infraestrutura e recursos limitados. Sua abordagem didática facilita a aplicação por autoconstruidores, destacando-se como uma referência técnica validada e amplamente reconhecida em estudos e projetos relacionados à construção com bambu.

Por sua combinação de simplicidade, eficiência e relevância acadêmica, o manual de López não apenas contribui para a análise técnica dos sistemas de cobertura com bambu, mas também oferece subsídios para a comparação com práticas reais, possibilitando a identificação de desafios e melhorias para futuras aplicações.

Como protótipo experimental foi realizado uma pequena tesoura para estrutura de telhado utilizando material provindo da agrofloresta de Mauá seguindo os princípios básicos defendidos por López (1981), a figura 25 demonstra um desenho de tesoura simplificada e de algumas conexões em bambu:

Figura 25 - Tesoura de telhado em bambu



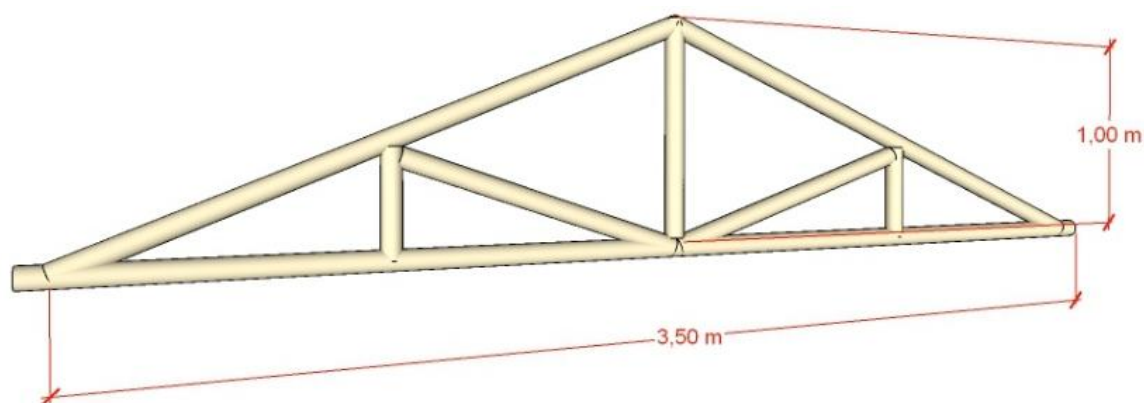
Fonte: Lopez (1981)

A metodologia que será empregada na investigação se baseia em um estudo qualitativo da estrutura, partindo inicialmente de sua reprodução em maquete eletrônica, em seguida passando a uma representação da estrutura em maquete física em escala reduzida, e pôr fim, a reprodução de uma tesoura em escala real. Neste processo serão avaliadas diversas questões como, dificuldades construtivas, ferramental utilizado, tempo de execução e materiais necessários. Os resultados encontrados visam comprovar e eficiência das técnicas e a possibilidade de replicação no cenário rural.

5.2.1. Resultados

Durante a primeira etapa da pesquisa foi realizada uma maquete virtual no software SketchUp Pro 2022 para definição das dimensões e proporções que seriam utilizadas na tesoura. Na figura 26 é possível analisar as cotas principais da estrutura, ficando estabelecido o vão de 3,5m e altura de 1m. Como o material seria transportado de Visconde de Mauá até o canteiro experimental da UFRJ, a dimensão máxima de 3,5m foi escolhida para possibilitar o transporte em carro de passeio.

Figura 26 – Maquete virtual da tesoura de telhado em bambu

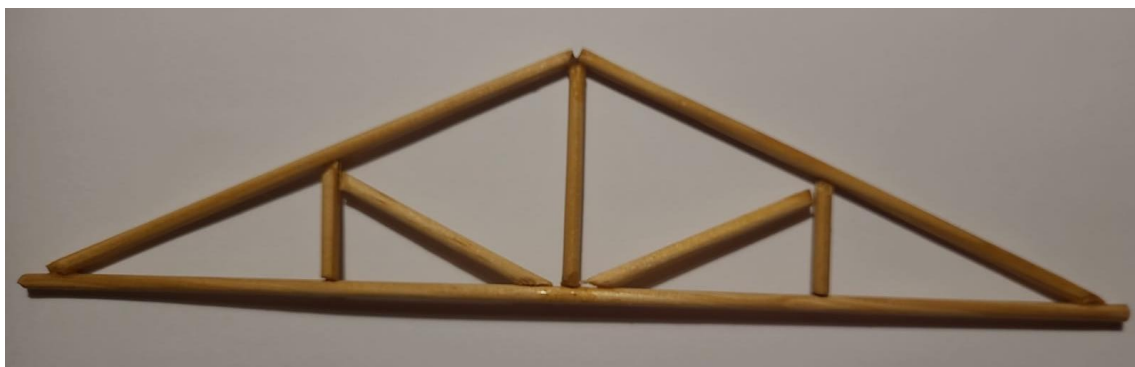


Fonte: Autor

Com a realização da maquete foi possível realizar o romaneio de todas as peças da estrutura, facilitando e otimizando o momento da retirada do material na agrofloresta. O software poderia ser substituído por um desenho a mão em escala caso esse processo seja reproduzido pelo produtor rural.

Após definição das dimensões em maquete virtual, foi realizada uma maquete física em escala para outras análises. A figura 27 mostra o resultado da maquete.

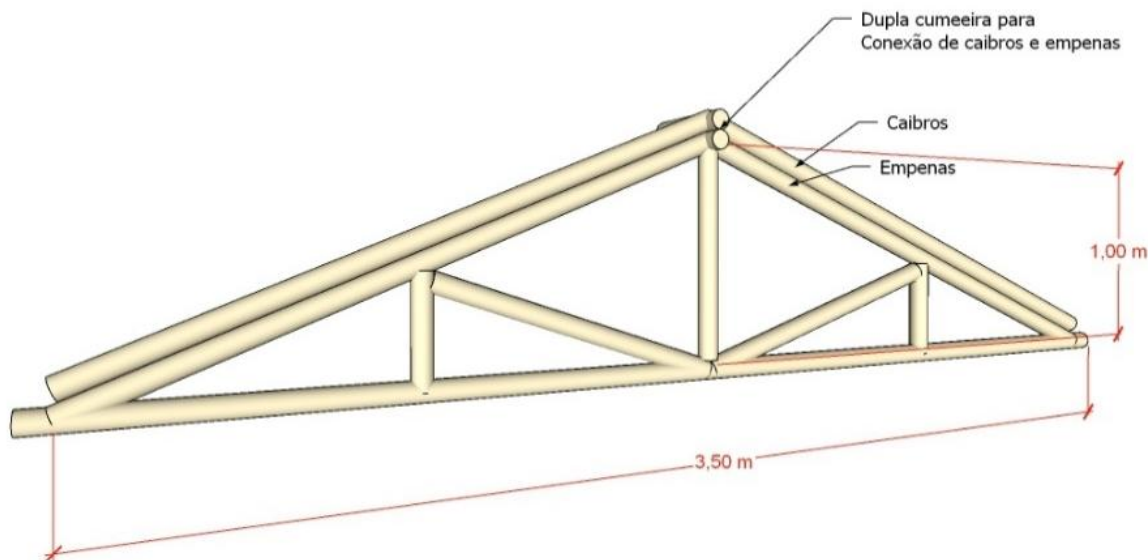
Figura 27 – Maquete física da tesoura de telhado em bambu



Fonte: Autor

A maquete física foi realizada com palitos de bambu para churrasco. Durante sua execução algumas informações importantes puderam ser analisadas. A primeira questão que surgiu durante sua montagem foi referente aos encaixes com ângulos diferentes de 90° , foi perceptível a maior dificuldade para execução desse tipo de encaixe, este fator surgiu como um alerta de que a mesma dificuldade poderia surgir no protótipo em verdadeira grandeza. Outra questão relevante a ser analisada foi em relação ao encontro das duas empenas para realização da cumeeira, no projeto de Lopez as empenas encaixam no pendural e os caibros se colocam por cima dessas conexões, com a maquete física foi possível prever uma dificuldade nesse encaixe dos caibros, pois o encontro das empenas sem uma peça de conexão foi imprecisa e de difícil execução, com isso foi realizada uma alteração no projeto afim de facilitar sua execução. A figura 28 mostra a maquete virtual atualizada com a presença de uma cumeeira dupla, facilitando os encaixes das empenas e dos caibros.

Figura 28 – Maquete virtual revisada da tesoura de telhado em bambu



Fonte: Autor

Após a revisão de projeto, foi realizada visita à campo para retirada dos colmos de bambu que seriam utilizados para execução do projeto. Durante a visita a espécie *Phyllostachys Makinoi* foi a escolhida para ser utilizada. Sua escolha foi feita em conjunto com a equipe responsável pelo manejo da agrofloresta da Ebiobambu, os critérios utilizados foram a abundância da touceira, a baixa relevância dessas varas para a saúde da SAF e o fato de ser uma espécie alastrante. A importância do último fator citado foi muito visível durante a visita, espécies como *Dendrocalamus Asper* (Bambu Gigante) que são entouceirantes apresentam uma dificuldade bem maior para seu manejo, como os colmos mais antigos normalmente se apresentam no interior da touceira, seu acesso acaba ficando dificultado, em contrapartida, espécies alastrantes como a escolhida (*Phyllostachys Makinoi*) se mostram de bem mais fácil manejo, sendo possível a caminhada livre por dentro da área da touceira permitindo uma escolha facilitada dos colmos mais antigos para retirada. O mosaico de fotos da figura 29 mostra o processo de coleta dos colmos.

Figura 29 – Processo de retirada dos bambus



Fonte: Autor

Após a retirada dos colmos, foi realizada uma pré montagem, realizando os cortes das peças e os encaixes principais da estrutura, para este processo foram utilizados arcos de serra, furadeiras com serras copo e serras tico tico. Neste processo foi possível analisar o potencial que o material possui para realização de estruturas pré-moldadas, com um romaneio adequado é totalmente possível realizar uma construção completa pré-fabricada de bambu, revelando mais uma característica importante para a especificação desse material. Este processo pode ser visto na figura 30.

Figura 30 – Pré-fabricação das peças da tesoura



Fonte: Autor

Com as peças transferidas para o canteiro experimental da UFRJ foi realizada uma estrutura com blocos de concreto e lona plástica para realização do tratamento dos colmos retirados de Visconde de Mauá. Devido a quantidade de varas e os materiais disponíveis foi escolhido o tratamento por imersão em composto químico. O composto químico foi escolhido com base nas substâncias mais utilizadas nesse tipo de tratamento, a disponibilidade e devido ao baixo custo, visando sempre sua replicação facilitada pelo pequeno agricultor. Foi calculado o volume da estrutura para realizar a solução de octaborato de sódio, sulfato de cobre e água em uma proporção de 3kg de octaborato e 500g de sulfato de cobre para cada 100l de água, conforme indicação do fabricante. A figura 31 demonstra o processo de tratamento.

Figura 31 – Tratamento das peças da tesoura



Fonte: Autor

Depois de uma semana imersas em solução os colmos de bambu foram retirados do tanque de tratamento e o processo de execução da tesoura foi iniciado.

Durante a montagem do protótipo em verdadeira grandeza diversas questões importantes puderam ser analisadas. Para a realização dos encaixes foram utilizadas barras roscadas retas e em formas de gancho, técnica muito utilizada na arquitetura em

bambu colombiana, esse tipo de conexão é chamada de “boca de pescado”. A figura 32 demonstra esse tipo de encaixe.

Figura 32 – Execução de uma boca de pescado



Fonte: Ebiobambu

Como previsto nas fases de maquete, as conexões com ângulos menores que 90° foram as que apresentaram maior dificuldade para serem realizadas, demandando muito mais tempo para suas confecções e exigindo um grau de acabamento mais apurado a fim de garantir um perfeito encaixe, para replicação no contexto rural o estudo indica uma atualização de projeto visando manter somente as conexões a 90° entre as peças de bambu.

Outra dificuldade analisada foi a importância de ferramentas como furadeiras e serras tico tico, é possível a execução dos encaixes apenas com ferramentas manuais,

porém sua dificuldade e tempo de execução praticamente inviabilizam estruturas maiores, portanto, um dos entraves analisados para replicação no campo é a necessidade de ferramental com maior custo para aquisição.

A premissa para a instalação das barras roscadas foi seguir a tipologia de gancho em conexões a 90° graus e barras retas para as conexões com ângulos agudos. De acordo com a revisão bibliográfica foi possível analisar no canteiro uma questão morfológica fundamental para esse tipo de encaixe. As conexões a 90° permitem uma distância do furo da barra muito mais próxima ao nó do bambu, em contrapartida as outras conexões apresentam uma dificuldade maior para a instalação próxima ao nó, com isso foi perceptível a fragilidade no momento da inserção das barras roscadas nas fibras mais longes ao nó do bambu. Outra questão observada foi a dificuldade na conexão dos encaixes das empenas e do pendural da tesoura, a peça da cumeeira dupla que recebe todas as barras roscadas acaba ficando sobrecarregada e fragilizada devido a quantidade de furos necessários, uma revisão de projeto para solucionar essas duas questões relatadas se mostra importante para melhor execução da peça. A figura 33 mostra as duas conexões relatadas.

Figura 33 – Conexões que enfrentaram dificuldades na montagem



Fonte: Autor

Por fim, um dado relevante constatado durante a execução foi o tempo gasto para realização da tesoura no canteiro experimental. Foi possível realizar todas as conexões,

encaixes e instalação das barras roscadas em um período de 6 horas de trabalho de apenas uma pessoa. Essa agilidade para execução destina ao bambu uma importante característica para cenários que exigem urgência para realização de estruturas sem necessitar grande quantidade e especialização de mão-de-obra, se colocando como uma potencial alternativa para o recorte da pesquisa. A figura 34 apresenta a tesoura concluída.

Figura 34 – Tesoura finalizada



Fonte: Autor

Portanto, é correto afirmar que a técnica poderia ser replicada em contexto rural com pequenas dificuldades, seria possível a construção de toda estrutura de um telhado em dias e com poucos trabalhadores. O ponto de atenção se configura na necessidade da compra de produto químico para tratamento e da indicação de uso de ferramentas elétricas.

5.3. SAFs de 5 a 10 anos: Estruturas de eucalipto roliço para galpões.

O próximo ciclo analisado compreende à partir do quinto ano de colheita até o décimo ano da SAF. Neste estágio a agrofloresta começa a atingir seu estágio de clímax, apresentando as primeiras vegetações madeiráveis em estágio adulto além de uma ampla diversidade de vegetações frutíferas. Junto ao desenvolvimento da plantação surge também a necessidade de maior infraestrutura para gerenciamento da colheita.

Com a presença de mais safras durante o ano e o aumento da escala de produção se torna necessário o estudo de alguma construção de apoio direto a colheita, de acordo com a entrevista realizada no estudo de caso, a SAF de Mauá está prestes a entrar neste período do recorte, e cada vez se torna mais importante a construção de algum galpão para auxiliar na seleção, controle, produção e armazenamento de toda a colheita.

A estrutura do galpão necessita de uma grande área coberta que permita o fluxo livre da ventilação e do trânsito de pessoas, privilegiando um espaço amplo sem pilares e/ou barreiras.

Para construções com esta tipologia precisamos de materiais que suportem vãos e pés direitos generosos, e indo de encontro a essa necessidade podemos destacar as vegetações lenhosas que começam a se apresentar como opções disponíveis para uso nesta etapa da SAF. A figura 35 demonstra essa passagem de tempo e evidencia os novos elementos disponíveis tanto para venda, consumo ou para incorporação como material construtivo.

Figura 35 – Ilustração da área de plantio da Agrofloresta 5 a 10 anos.

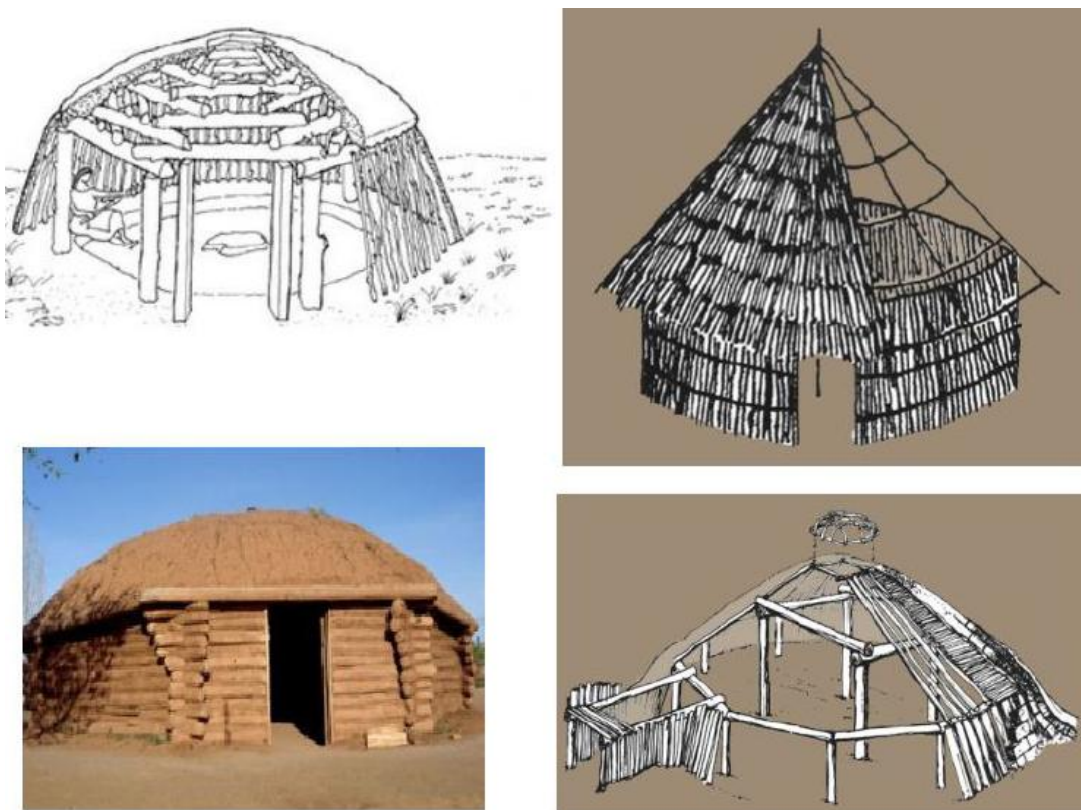


Fonte: Autor

Nesse estágio de amadurecimento a madeira roliça demonstra grande potencial construtivo para o cenário do estudo de caso.

A madeira roliça, dada sua disponibilidade natural, tem sido empregada como matéria-prima essencial na construção de abrigos desde os primórdios das civilizações humanas. A literatura arqueológica nos oferece exemplos fascinantes de habitações utilizadas por povos nômades pré-históricos. Estas estruturas eram frequentemente concebidas em formato circular, como ilustrado na Figura 36, e eram erguidas a partir de troncos de madeira roliça, posteriormente cobertas com galhos e folhas de árvores, conforme documentado por Altoé (2009). Essas construções primitivas são testemunhos notáveis da habilidade e engenho humanos em criar soluções arquitetônicas a partir dos recursos naturais disponíveis. (GÓES, 2022)

Figura 36 - Detalhe de construção de uma estrutura de telhado em bambu



Fonte: Góes adaptado de Harland (2010)

Como mencionado no capítulo 3.4, o uso da madeira roliça apresenta diversas vantagens na construção civil, entretanto, o Brasil não apresenta essa técnica difundida entre seus principais métodos construtivos. Essa presença limitada de construções com madeira roliça no país pode ser atribuída a diversos fatores, sendo um deles o contexto histórico e as práticas de construção predominantes. Podemos destacar as regiões ao sul do Brasil como maiores expoentes do uso do material, justificado pela chegada de imigrantes europeus pós escravidão, trazendo consigo a expertise e conhecimento em técnicas de construção em madeira.

Entretanto, de acordo com Brito (2010), a utilização da madeira roliça proveniente de árvores de eucalipto na construção civil oferece diversas vantagens. Em primeiro lugar, por ser proveniente de árvores de reflorestamento, contribui para a preservação das florestas nativas, sua forma roliça preserva as características mecânicas naturais da madeira, como a integridade das fibras longitudinais, axiais e radiais, as árvores de reflorestamento são, em geral, mais leves, o que reduz os custos com fundações e equipamentos, ademais, essas espécies apresentam grande adaptabilidade aos diversos tipos de solo encontrados em todas as regiões do país, sua disponibilidade em relação a variedade em diâmetros e comprimentos também é um ponto positivo, sua utilização implica em menor necessidade de contratação de mão-de-obra especializada e reduz os gastos com beneficiamento e além disso, o eucalipto é conhecido por seu rápido crescimento, o que encurta o tempo de transição entre a plantação e o produto final entregue ao cliente.

Fazendo a conexão de todas essas vantagens com o cenário do morador rural, podemos indicar o uso do eucalipto como solução construtiva de grandes potencialidades. A falta de conhecimento técnico para sua aplicação pode se mostrar como um entrave para que o agricultor familiar o utilize em suas autoconstruções, portanto é necessário encontrar sistemas construtivos que sejam de fácil replicação não exigindo grandes especializações de mão de obra.

Devido à lógica que impera no sistema agrícola brasileiro, o eucalipto tem se popularizado frequentemente como alvo de críticas e equívocos. Contrariamente à crença popular, quando cultivado de forma responsável e em áreas apropriadas, o eucalipto pode ser uma opção sustentável. Mitos como o esgotamento de recursos hídricos, a desertificação do solo e o prejuízo à biodiversidade podem ser desmistificados por meio de boas práticas de manejo, como a rotação de culturas e a conservação do solo. Os

malefícios estão muito mais conectados ao tipo de sistema agrícola implementado do que de fato à espécie explorada. Além disso, o eucalipto, com seu rápido crescimento, pode ser uma fonte renovável e sustentável de madeira, desde que manejado de forma responsável. Portanto, é crucial considerar o contexto local e as práticas de cultivo ao avaliar os impactos do plantio dessa espécie.

Taxado muitas vezes como vilão e conhecido somente por suas monoculturas de reflorestamento o eucalipto pode parecer em um primeiro momento um personagem antagonico às SAFs, entretanto, esse tipo de vegetação pode desempenhar funções de extrema importância em colheitas baseadas na policultura.

O eucalipto, embora seja uma espécie exótica, demonstra ser uma escolha vantajosa nos Sistemas Agroflorestais, devido à flexibilidade na legislação para seu manejo e corte. Além disso, sua eficiência fotossintética o torna um produtor excepcional de matéria orgânica ao longo de seu crescimento. O processo de poda frequente, seguido pela rápida rebrota, distingue seu uso nesse tipo de cultivo em relação às monoculturas voltadas à celulose. Toda essa biomassa produzida através de seu crescimento e sua constante poda oferece um fornecimento contínuo de nutrientes e cobertura do solo, especialmente quando combinado com bananeiras, enriquecendo todo o sistema agroflorestal. (LIMA, 2021)

Outra utilização comum dos eucaliptos em SAF's, assim como os bambus, se dá através da implantação de “quebra-ventos”, técnica importante de controle da variável vento que pode influenciar diretamente a produtividade de todo o sistema. (MAY; TROVATTO, 2008)

Também é importante salientar seu uso como fonte de renda para o pequeno produtor rural. A parte da árvore que não é podada proporciona postes de madeira após cerca de sete anos, e posteriormente, o eucalipto regenera, permitindo a reintrodução ou reconfiguração do sistema. (LIMA, 2021)

Bernades (2008) apresenta experiências de utilização do eucalipto em SAF's que obtiveram sucessos significativos, uma delas consistia na realização do plantio de milho, feijão e mandioca em área no quarto ciclo da cultura de eucalipto, podendo ser observado que o milho teve um grande aproveitamento do adubo destinado ao eucalipto, além de que as plantas perto do eucalipto apresentaram produtividade muito superior quando comparadas ao restante. Os resultados da área de observação implantada indicam a

complementaridade do uso do ambiente disponível (solo e clima) pelos cultivos envolvidos (eucalipto, feijão, milho e mandioca). Estes tipos de experimentos evidenciam a capacidade do eucalipto de coexistir de maneira sustentável com cultivos agrícolas, proporcionando não apenas benefícios financeiros adicionais para as famílias participantes do projeto, mas também um desenvolvimento bem-sucedido das culturas.

Visando agregar ainda mais valor à utilização da madeira do eucalipto, esta pesquisa se propõe a analisar maneiras que o pequeno produtor rural poderia aproveitar este material para seu próprio uso destinado a construção de estruturas de apoio a colheita. A utilização da madeira roliça do eucalipto se daria no ciclo médio produtivo da SAF, possibilitando seu uso como componente estrutural a partir dos 7 anos de plantação.

Góes (2022) elenca algumas das principais soluções utilizadas para construções com eucalipto, podendo destacar as treliças planas, que são recomendadas para coberturas, sendo crucial a disposição das peças formando triângulos e a articulação teórica dos nós, as treliças espaciais que são ideais para coberturas de galpões e estádios, usando peças de pequeno diâmetro e obtendo resistência através das ligações tridimensionais, pórticos, que também são uma opção versátil, podendo ser utilizados na construção de habitações, sistema viga-pilar que é o mais comum na construção de casas, permitindo a conexão de peças durante a montagem e, por fim, a madeira roliça pode ser empregada em paredes autoportantes, fazendo parte do sistema de fechamento e suporte da estrutura da construção.

Em seu estudo, o autor também aborda sobre a tipologia denominada como "*Estrutura Whale Bone*", desenvolvida por Chrisp, Cairns e Gulland em 2003, que faz parte do trabalho nomeado como "*Projetos Tecnológicos Comunitários Rurais*". Ele foi concebido para comunidades rurais na Escócia, visando construções econômicas e de alta qualidade para usos residenciais, educacionais e comunitários. Este sistema utiliza materiais renováveis obtidos localmente e tecnologias disponíveis na região. Ele se concentra no aproveitamento da madeira roliça, um subproduto da gestão florestal local. O projeto foi concebido para ser executado por trabalhadores locais, utilizando técnicas artesanais como carpintaria, marcenaria e serralheria, evitando a necessidade de alta industrialização e importação de materiais externos.

Transpondo esse potencial para a realidade do agricultor brasileiro podemos destacar que essa mesma tipologia se coloca como candidata a responder algumas demandas

presentes também em nosso contexto. A presente pesquisa se propõe a investigar a replicação desta técnica em meio rural, realizando uma investigação através de um estudo qualitativo que envolverá a fabricação de protótipos em escala e a execução de uma estrutura em verdadeira grandeza.

O estudo de caso analisado na pesquisa ainda não dispõe de eucalipto para utilização construtiva, as espécies plantadas ainda estão em fase de amadurecimento e os rejeitos que são produzidos com sua poda ainda são reinseridos no próprio sistema visando a fertilização do solo, porém, ao alcançar maior maturidade a SAF de Visconde de Mauá produzirá material que poderá ser empregado para confecção deste tipo de estrutura. O amadurecimento do sistema converge com o possível crescimento da família rural envolvida na colheita, podemos supor que SAFs já implantadas com idades entre 5 a 10 anos já se colocam como colheitas consolidadas, exigindo consequentemente uma estrutura de suporte com escalas compatíveis.

A chave para essa conexão é vincular sempre o crescimento do sistema de plantio com o amadurecimento também da família agricultora, criando uma simbiose onde arquitetura e agricultura se alimentam mutuamente, entrando e saindo de ciclos de amadurecimento de maneira simultânea.

Para fim de investigação, serão usados eucaliptos provenientes de madeireiras, porém, será escolhido material da mesma espécie disponível na plantação do estudo de caso, possibilitando que os testes e protótipos possam ser replicados em um futuro próximo pela equipe Ebiobambu.

Existem diversos sistemas construtivos que visam a aplicação desse material a estrutura, o trabalho fará o recorte em tipologias de modelo Whale Bone (“costela de baleia”) por sua simplicidade de replicação, a não dependência de maquinário pesado e a possibilidade de execução com baixa qualificação de mão-de-obra. Além disso, a tipologia permite uma grande área livre ortogonal, possibilitando o armazenamento da colheita e o fluxo direto de pessoas, se colocando de acordo com as necessidades de um programa de galpão.

A estrutura “*Whale Bone*” se baseia em pórticos triangulares compreendidos por cinco peças - uma viga central e duas empenas - que desempenham papéis de fechamento lateral e cobertura. As empenas são fixadas nas extremidades da viga central, e as duas asnas são posicionadas de modo a criar uma conexão triangular entre a viga e cada empena.

A viga central é elevada e ancorada nos postes de fundação, levando em conta a inclinação do terreno. As empenas são pré-tensionadas em um gabarito enquanto ainda estão em estágio verde para facilitar o processo. Durante a montagem, são unidas na parte superior por meio de chapas de aço. Os pórticos são dispostos em pares, associando-se aos postes de fundação de forma inclinada, resultando em uma estrutura triangular em ambas as direções. Isso proporciona uma maior estabilidade lateral e resistência aos ventos. Essa tipologia apresenta um potencial de aproveitamento interessante, visto que a forma resultante se assemelha a uma abóbada, gerando um espaço interno mais aproveitável do que seria possível com uma configuração puramente triangular. A figura 37 demonstra o formato da estrutura em fase de construção:

Figura 37 - estrutura “Whale Bone”



Fonte: Chrisp, Cairns e Gulland (2003)

A utilização de eucalipto jovem em estruturas do tipo whale bone demonstra grande potencial arquitetônico e funcional, especialmente para projetos que priorizam sustentabilidade, eficiência construtiva e espaços internos livres de obstruções. O eucalipto jovem reduz custos, uma vez que se trata de um material renovável e de

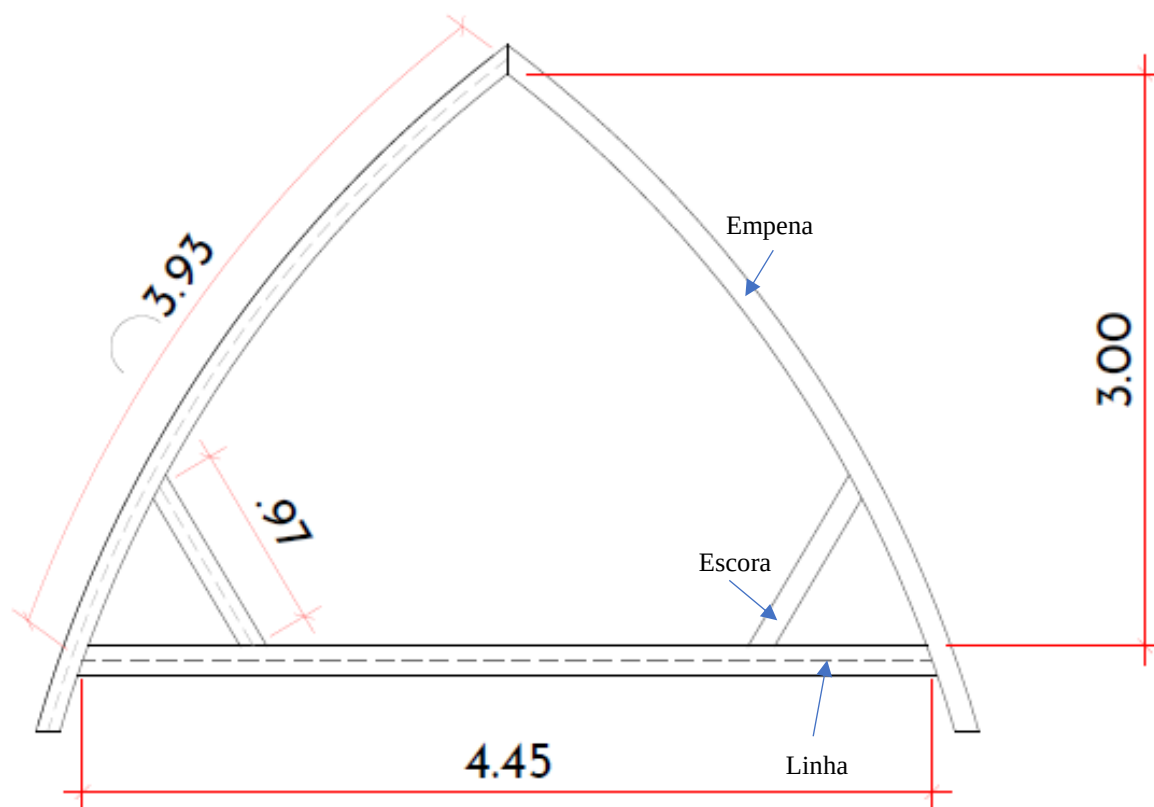
crescimento rápido, além de promover uma abordagem mais ecológica ao setor da construção.

Essa solução em pórticos proporciona uma área coberta livre de pilares e de simples execução, se colocando como uma alternativa para a construção do galpão de apoio a plantação, privilegiando a dinâmica e a produtividade da colheita. O trabalho pretende realizar a investigação desta técnica construtiva partindo inicialmente de sua reprodução em maquete eletrônica, em seguida passando a uma representação da estrutura em maquete física em escala reduzida, e pôr fim, a reprodução de um pórtico em escala real. Neste processo serão avaliadas diversas questões como, dificuldades construtivas, ferramental utilizado, tempo de execução e materiais necessários. Os resultados encontrados visam comprovar a eficiência das técnicas e a possibilidade de replicação no cenário rural.

5.3.1. Resultados

Durante a primeira etapa da pesquisa foi realizado projeto inicial no software Autodesk AutoCAD 2024 para definição das dimensões e proporções que seriam utilizadas na estrutura. Na figura 38 é possível analisar suas cotas principais, onde o ponto de partida para elaboração do projeto foi definir o pé direito de 3 metros como balizador. Esse pé direito permitira o trabalho com materiais mais altos e garantiria um bom fluxo de ar para o conforto térmico do galpão. A figura 38 representa a vista da estrutura cotada.

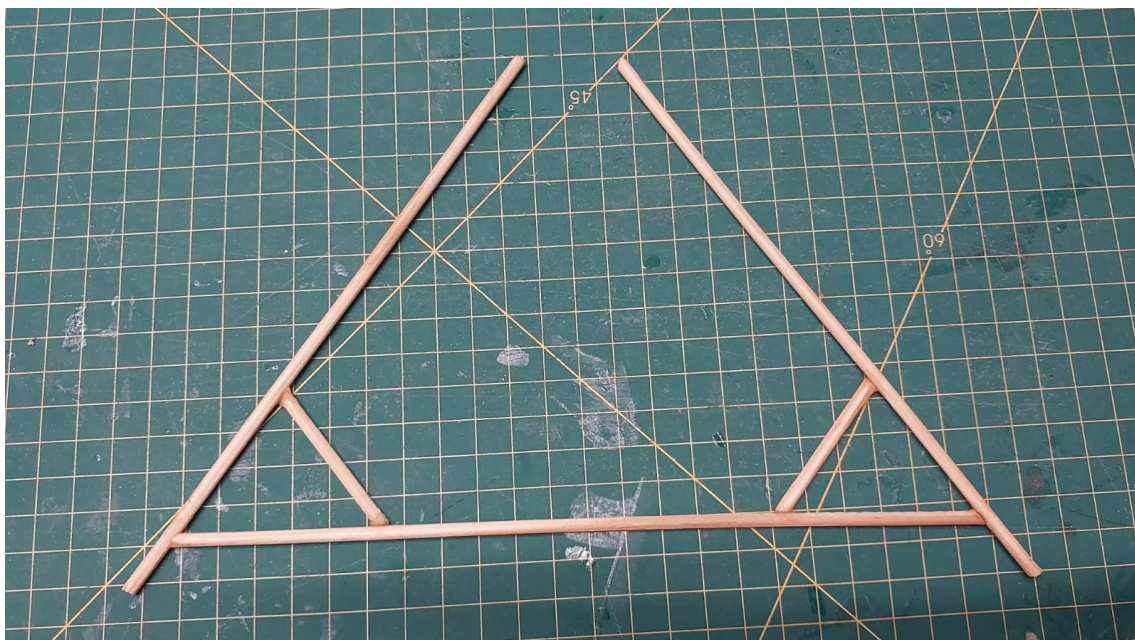
Figura 38 - projeto estrutura “Whale Bone”



Fonte: Autor

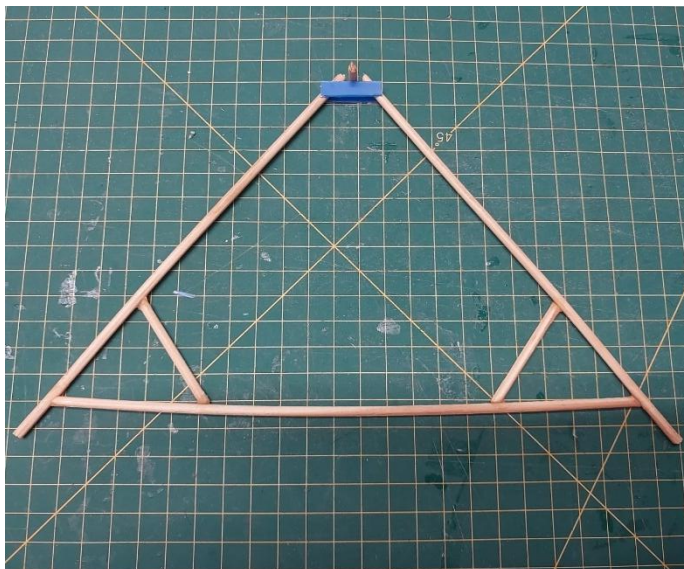
Após definição das medidas do projeto, foi realizada uma maquete física com palitos de madeira para melhor entendimento da estrutura. Com a execução da representação em escala foi realizada uma mudança no projeto, adicionando uma chapa metálica para conexão das empenas possibilitando o acréscimo de uma peça de cumeeira que conectaria todos os pórticos do galpão. Com isso, algumas alterações nas cotas da estrutura precisaram ser realizadas. A figura 39 mostra o processo de execução da maquete e a figura 40 apresenta um detalhe da nova conexão para peça de cumeeira.

Figura 39 - Maquete estrutura "Whale Bone"



Fonte: Autor

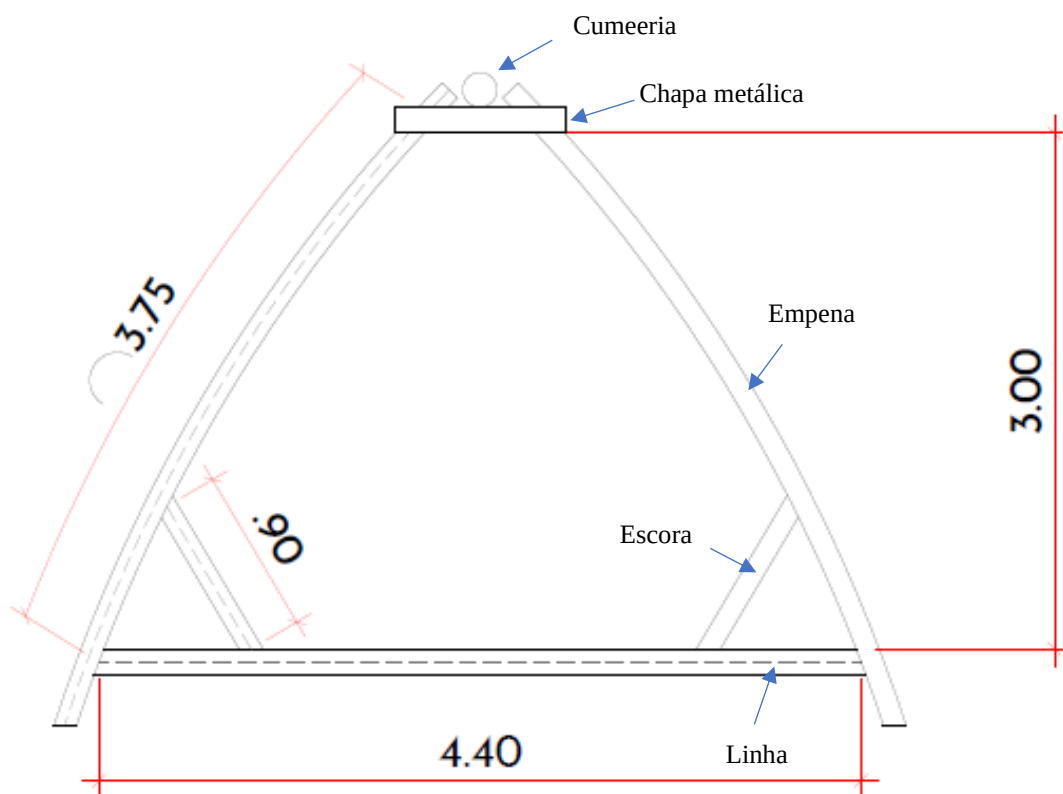
Figura 40 – Detalhe maquete estrutura "Whale Bone"



Fonte: Autor

Com a alteração do projeto em maquete, o desenho também foi atualizado e o projeto a ser executado foi definido, na figura 41 é possível analisar as medidas finais para execução.

Figura 41 – Projeto revisado da estrutura “Whale Bone”



Fonte: Autor

Para fase de execução, não seria possível utilizar os eucaliptos da própria agrofloresta do estudo de caso, os exemplares ainda não chegaram a suas fases adultas impossibilitando sua retirada do sistema. Para isso foi comprado toras de eucalipto da mesma espécie disponível em Mauá, *Eucalyptus Cloeziana*, possibilitando que esse tipo de construção possa ser realizada pela equipe da Ebiobambu no futuro. A figura 42 mostra a chegada das peças no canteiro experimental da UFRJ

Figura 42 – Peças no canteiro experimental da UFRJ



Fonte: Autor

As peças utilizadas tinham 6 metros de comprimento com diâmetros variando entre 12 a 14cm e entre 8 a 10cm.

A primeira etapa para execução do modelo foi a preparação da peça chamada de linha (figura 41). Foi utilizada a peça de maior diâmetro, 12 a 14cm. O primeiro passo foi a marcação do nível e alinhamento que seria trabalhado, esse processo foi feito com um nível de mão e uso de um parafuso para guia. A imagem 43 demonstra a iniciação do trabalho.

Figura 43 – Demarcação peça de trabalho



Fonte: Autor

Em seguida, foram realizados os cortes das extremidades seguindo o ângulo para encaixe das peças de empena. Para isso, um gabarito foi esquadrejado no chão servindo como guia para orientação do corte, a figura 44 mostra esse processo:

Figura 44 – Demarcação peça de trabalho



Fonte: Autor

O segundo passo foi a execução dos cortes para encaixe das peças de escora (figura 41), esses detalhes na linha tem o objetivo de apoiar as escoras que serão o suporte que permitirá a curvatura das empenas (figura 41) quando for realizado o encaixe final das peças. Além destes detalhes também foram executados os entalhes para encaixe da porca que apertará a barra rosca de união entre a linha e as empenas, esse corte é necessário para que a arruela e a porca tenham uma base de contato uniforme para que seja realizada a conexão da estrutura, na imagem 45 podemos observar esses dois procedimentos:

Figura 45 – Entalhes nas peças de encaixe



Fonte: Autor

Depois da linha pronta, as peças de escora podem ser confeccionadas, em uma das extremidades é necessário um corte em V para encaixe na linha, já na outra extremidade é realizado um corte seguindo a angulação do projeto para receber a empena. A figura 46 representa o encaixe da escora na linha.

Figura 46 – Encaixe Escora / Linha



Fonte: Autor

Em seguida são posicionadas as empenas conectadas através de barras roscadas às linhas e as escoras, nesta etapa as empenas ainda não se encostam, estão retas sem curvatura, a figura 47 demonstra esse processo.

Figura 47 – Montagem inicial da peça



Fonte: Autor

Após empenas, linhas e escoras instaladas, é possível aplicar a pressão e realizar a curvatura das empenas até que seja possível sua conexão para finalização do pórtico. Para realização desta etapa foi utilizada uma fita com catraca para pressão e cordas de

segurança. A imagem 48 mostra a execução da curvatura e o a finalização da estrutura com um perfil de alumínio instalado para conexão das empenas e da futura cumeeira.

Figura 48 – Processo para curvatura da peça



Fonte: Autor

Ao fim das conexões foi possível a finalização do pórtico experimental e seu posicionamento na vertical, a figura 49 mostra o pórtico finalizado com uma referência da escala humana em relação ao projeto.

Figura 49 – Estrutura finalizada



Fonte: Autor

Durante a execução da peça, foi possível obter diversos resultados relevantes. Em comparação com outras técnicas construtivas analisadas na dissertação, o eucalipto destacou-se como o material de manejo mais desafiador, principalmente devido ao seu peso. Mesmo exemplares jovens apresentam um peso significativo, o que dificulta a execução das atividades quando realizada por apenas uma pessoa. Em contrapartida, materiais como terra e bambu mostraram-se mais adequados para o trabalho individual. Já o eucalipto, devido às suas características, exige a atuação de, no mínimo, duas pessoas para facilitar o processo. Essa dinâmica está alinhada com a lógica de desenvolvimento familiar, em que, nesse estágio, o pequeno produtor já conta com maior disponibilidade de trabalhadores para auxiliar tanto na colheita quanto na construção.

Outro aspecto relevante foi a utilização de maquinário durante o experimento. Inicialmente, foram utilizados apenas serrotes e arcos de serra para a execução dos encaixes. No entanto, ficou evidente que, com essas ferramentas manuais, o trabalho seria excessivamente demorado e dificultoso. Para otimizar o processo, o restante dos encaixes foi realizado com o auxílio de serras tico-tico, o que acelerou significativamente a execução. O pórtico foi concluído em aproximadamente 10 horas de trabalho, um resultado surpreendente, especialmente considerando a pouca experiência da mão de obra envolvida e as dificuldades apresentadas pelo material utilizado.

O maior desafio do processo foi a execução da conexão entre as empenas. A realização da curvatura demandou a aplicação de uma pressão extremamente elevada, sendo viável apenas com o uso de alavancas proporcionadas pelas fitas de amarração de carga utilizadas. Sem o auxílio dessas catracas, o trabalho não poderia ter sido realizado com apenas duas pessoas. Isso evidencia a necessidade de materiais específicos para o pequeno produtor rural. Contudo, as fitas de amarração de carga são amplamente utilizadas no meio rural, principalmente para empilhamento de caixotes e abastecimento de carretas, o que as torna de fácil acesso e aplicáveis a esse tipo de trabalho.

Conclui-se que a execução da peça trouxe respostas importantes sobre os desafios e possibilidades do uso de materiais e ferramentas no contexto de construções rurais. O eucalipto, embora robusto e eficiente, apresentou dificuldades de manejo devido ao seu peso, destacando a necessidade de mais de uma pessoa para a execução, enquanto materiais como terra e bambu mostraram-se mais viáveis para trabalhos individuais. A utilização de maquinário, como serras tico-tico, demonstrou ser fundamental para otimizar o tempo e reduzir o esforço físico, evidenciando a importância de ferramentas

apropriadas no processo construtivo. A conexão entre as empenas revelou-se o ponto mais desafiador, exigindo o uso de fitas de amarração de carga, que, apesar da complexidade, são acessíveis no meio rural e ampliam a viabilidade técnica para o pequeno produtor. Esses resultados reforçam a necessidade de alinhar materiais, ferramentas e mão de obra disponível às realidades locais, promovendo soluções práticas e acessíveis para construções sustentáveis no meio rural.

5.4. SAFs de 10 a 30 anos: Biomassa para geração de energia elétrica.

A conexão arquitetura e agricultura não é a única camada possível de interação com o sistema agroflorestal, existem outros rejeitos agroflorestais que apresentam potenciais características para serem utilizados com outras finalidades.

Uma dessas finalidades se apresenta com o conceito de que toda a matéria vegetal e orgânica existente, chamada de biomassa, pode ser utilizada na produção de energia. A lenha, bagaço de cana-de-açúcar, cavaco de madeira, resíduos agrícolas, algas, restos de alimentos e até excremento animal que, após sua decomposição, produzem gases que são usados para gerar energia. No Brasil, a biomassa mais utilizada para geração de eletricidade atualmente é oriunda da cana-de-açúcar, plantada e processada principalmente nas regiões Sudeste e Centro-oeste. Deste material, podem-se também, originar compostos tais como álcool (etanol), óleos vegetais e gorduras.

Em agroflorestas com mais de 10 anos, observa-se a produção de uma quantidade significativa de biomassa. Paralelamente, uma das principais problemáticas identificadas na área de estudo é o fornecimento inadequado de energia elétrica. Nesse contexto temporal, em que a família agricultora já se expandiu, ou até mesmo considerando a possibilidade de múltiplas famílias usufruindo do mesmo sistema agroflorestal, surge a oportunidade de explorar o uso do excedente de biomassa para a geração de energia elétrica. A Figura 50 ilustra a evolução ao longo do tempo e apresenta um esquema de uma pequena usina elétrica movida a biomassa, projetada para atender às necessidades energéticas de diversas famílias de agricultores, promovendo sustentabilidade e autonomia energética na região.

Figura 50 – Ilustração da área de plantio da Agrofloresta 10 a 30 anos.



Fonte: Autor

O potencial de energia proveniente da biomassa é vasto, tanto em escala global quanto no Brasil. Biocombustíveis poderiam ser uma das soluções para a geração de eletricidade em comunidades isoladas, o que ao mesmo tempo poderia impulsionar o desenvolvimento de práticas extrativistas sustentáveis, contribuindo para o crescimento dessas comunidades. É crucial abordar o desafio tecnológico de maneira integrada, considerando também os aspectos sociais, culturais e ambientais. Isso inclui focar na aceitação da tecnologia pela comunidade, na formação dos profissionais que irão operar o sistema e na garantia da sustentabilidade de todo o processo. Contudo, a tomada de decisões nesse sentido não é simples, devido ao limitado desenvolvimento, às escassas opções comerciais e à complexidade e baixa confiabilidade da maioria dessas tecnologias. (LORA; ANDRADE; ARADAS, 2004)

O cultivo de produtos agrícolas usados como fonte de geração de energia requer também cuidados conservacionistas, como: evitar o desmatamento de áreas naturais para iniciar novas áreas de plantio, uso controlado de agrotóxicos e fertilizantes e controle de resíduos, e é exatamente nesta questão que a agrofloresta se coloca como uma alternativa sustentável. Primeiramente, SAF's, não são baseadas em monocultura, portanto a área de plantio não se restringiria à produção de biomassa, garantindo que a terra tenha uma variedade de espécies e diferentes tipos de colheita. Outra vantagem das SAF's se manifesta na menor necessidade de utilização de agrotóxicos e fertilizantes, onde por conceito, a plantação sucessional auxilia na recuperação de solos degradados e também dificulta o completo estrago da colheita por conter uma grande diversidade de espécies, não permitindo que uma praga específica possa devastar toda a plantação. (GÖTSCH; 1995)

Um exemplo de modelo possível de estudo, pode ser encontrado no artigo “*A biomass small-scale externally fired combined cycle plant for heat and power generation in rural communities*” onde Riccardo(2019) e os demais autores propõem uma nova usina de pequena escala capaz de gerar eletricidade e energia térmica a partir de biomassa sólida e gasosa, para ser empregada em projetos de eletrificação rural. O sistema proposto é baseado em tecnologia barata, derivada do setor automotivo, garantindo custos de capital muito baixos e manutenção mínima, se colocando como alternativa para evitar possíveis problemas de abastecimento de combustível em comunidades rurais remotas e isoladas. A solução proposta torna as comunidades rurais capazes de atingir metas de autonomia

energética, seguindo um paradigma de economia circular. Graças aos custos fixos e variáveis reduzidos, o sistema permite obter desempenhos comparáveis a outras tecnologias de ponta geralmente adotadas para a eletrificação rural.

Além disso, foi demonstrado que resíduos de diversas atividades agrícolas podem ser aproveitados como biomassa graças à presença de uma unidade de combustão externa, este fator é de extrema importância no cenário agroflorestal, que é capaz de produzir grande variedade de resíduos. A inclusão deste pequeno sistema permite fechar a cadeia produtiva de múltiplas atividades rurais e apoiar a sustentabilidade das comunidades do ponto de vista econômico e ambiental. A sustentabilidade social também é promovida uma vez que a tecnologia proposta, não exige técnicos com alto grau de especialização e manutenção complexa, é de fácil acesso e pode ser integrada em projetos de engajamento comunitário, outro fator fundamental, visto que, a proposta de sistemas agroflorestais incentivam a agricultura familiar, possibilitando que pequenos produtores tomem conta de sua própria plantação, invertendo a lógica de grandes empresas que dominam a maior parte do campo brasileiro. Este processo de empoderamento do pequeno agricultor é potencializado pela implantação das agroflorestas que servem primeiramente como técnica capaz de ser manejada sem grandes investimentos e também como fonte de matéria prima para produção de biomassa, formando cada vez mais um ciclo autossuficiente para as pequenas comunidades rurais.

Outros trabalhos relevantes na área apresentam enfoque voltado para análise das maneiras em que a biomassa vem sendo utilizada. Em *“Bioenergy as an Alternative Energy Source: Progress and Development to Meet the Energy Mix in Indonesia”* Pangaduan(2022) analisa o mix das fontes de energia atual e prospectivas na Indonésia e as principais fontes de energia convencionais e não convencionais juntamente com suas preocupações ambientais. Este trabalho também reúne as mais recentes pesquisas locais sobre biomassa e projetos de usinas de biomassa.

Em *“Experimental study and Life Cycle Assessment of biomass small-scale trigeneration plant”* Antonella(2021) apresenta um estudo de caso italiano de uma planta piloto de microtrigeração baseada na gaseificação de cavacos de madeira e biomassa lignocelulósica residual. A planta piloto foi projetada para atender a demanda de eletricidade, água quente sanitária, aquecimento e refrigeração de um escritório municipal. Com a ferramenta de ACV o estudo apresentou resultados que apontam que as emissões de gases de efeito estufa são muito baixas, concluindo que a biomassa pode

ser considerada uma fonte renovável e seu uso representa uma alternativa sustentável e atraente em relação ao combustível fóssil tradicionalmente utilizado.

Traçando o recorte para as tecnologias de conversão de biomassa em pequena escala os trabalhos citados convergem para a constatação que este tipo de combustível foi mais utilizado até algumas décadas atrás. O método mais antigo e comum para utilizar biomassa sólida ou convertê-la em combustíveis líquidos ou gasosos para pequenas aplicações é por meio de processos termoquímicos em temperaturas de reação moderadas a altas. Outros métodos de conversão baseados em reação química ou fermentação bacteriana foram introduzidos recentemente, mas principalmente voltados para a produção comercial de combustíveis líquidos ou gasosos em média e larga escala. A combustão usando fogões de biomassa provou ser um método eficiente e ecológico para a utilização doméstica e em pequena escala de resíduos agrícolas, sua principal desvantagem que o impede de ser amplamente utilizado como substituto do carvão, comumente usado, é o alto teor de umidade e a baixa densidade de energia, isso inviabiliza o transporte de biomassa bruta a ser utilizada para geração de energia em locais diferentes de sua origem de produção.(ANTONELLA, 2021) (PANGADUAN, 2022) (RICCARDO, 2019)

5.4.1. Resultados

Conectando sua capacidade de utilizar resíduos agrícolas juntamente com sua desvantagem em relação a locomoção em grandes distância, percebemos que este tipo de tecnologia tem potencial para adaptação no cenário proposto, onde pequenas produções de SAF's ofereceriam matéria prima abundante e em contrapartida essa energia gerada serviria estrategicamente para promover a independência energética dessas próprias pequenas comunidades localmente, sem necessidade de transporte de combustível.

Ainda de acordo com os trabalhos citados, as conclusões convergem para destacar a biomassa como uma fonte chave de energia renovável, especialmente em áreas rurais onde os resíduos da agricultura são facilmente acessíveis. A maioria dos países em desenvolvimento já depende da biomassa para suas necessidades energéticas, embora seja geralmente queimada em fogões e fornalhas tradicionais com eficiências muito baixa. A biomassa fornece uma importante fonte de energia no caso de áreas remotas que podem estar, por exemplo, situadas dentro de plantações agroflorestais ou também dentro de

zonas ambientalmente protegidas, como florestas e parques naturais. A sua exploração também pode reduzir o risco de incêndios florestais trazendo mais uma vantagem ambiental para seu uso.

A exploração de biomassa no contexto de comunidades pobres em países em desenvolvimento também pode permitir aumentar o emprego rural, alcançando importantes objetivos sociais e econômicos em termos de sustentabilidade e independência energética. Os problemas relacionados à criação de um mercado de tecnologias de biomassa e de esquemas econômicos eficientes para coleta de biomassa podem ser superados pela promoção de políticas de incentivos governamentais e também por meio do envolvimento da comunidade.

A utilização em pequena escala de biomassa como fonte energética para pequenas produções rurais se mostra como alternativa viável e que apresenta diversas potencialidades, principalmente se analisarmos o cenário atual do campo brasileiro. Este trabalho se apresenta como propagador desta ideia que vem sendo mais estudada nos últimos anos mas que carece de maior atenção pelos centros de pesquisa e pelo poder público.

O trabalho se coloca como incentivador para novas pesquisas que visem o estudo integrado dessas potencialidades visando definir e elencar possíveis maneiras de conectar a produção de energia através da colheita e manejo de sistemas agroflorestais. Seguindo o amadurecimento cronológico das SAF's, percebemos que o sistema atinge níveis de abundância em ciclos de 10 a 30 anos. Plantações com essa idade e nível de maturidade são sistemas com escala maiores, capazes de abastecer várias famílias rurais e prover uma grande diversidade de matéria orgânica. Nesta etapa, onde mais agricultores estariam conectados ao sistema e conseqüentemente mais material orgânico estaria disponível, é o momento que podemos analisar o uso dos rejeitos para o abastecimento de energia. (NETO, STEENBOCK, *et al.*, 2016)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo principal analisar e explorar a integração entre sistemas construtivos e agroflorestais, com foco em materiais provenientes de Sistemas Agroflorestais Sucessionais (SAFs). A pesquisa procurou demonstrar como a sinergia entre arquitetura e agricultura pode contribuir para soluções habitacionais sustentáveis e autônomas, especialmente para pequenos produtores rurais. Durante o trabalho, a experimentação de materiais, como fibras vegetais, bambu e eucalipto, forneceu subsídios empíricos que destacaram a viabilidade técnica e o potencial simbólico dessa abordagem.

Os resultados do Capítulo 5 destacaram-se por elucidar as possibilidades de uso de materiais retirados de diferentes estágios dos SAFs, proporcionando uma visão clara sobre a adequação e limitações de cada recurso. A experimentação com adobe reforçado com fibras vegetais, por exemplo, demonstrou melhorias significativas no desempenho estrutural, reduzindo fissuras no momento de sua secagem. Além disso, foi possível analisar de maneira muito elucidativa e didática as fases da terra e seu comportamento derivado da interação com as fibras e a água. Essa solução simples e acessível reforça o conceito de autoconstrução, alinhando-se à necessidade de independência dos pequenos produtores em contextos de vulnerabilidade socioeconômica.

Outro ponto relevante foi a avaliação do bambu como alternativa para sistemas de cobertura. Com um ciclo de renovação rápido e fácil manejo, o bambu revelou-se um material promissor para uso em estruturas leves, atendendo às exigências tanto de sustentabilidade quanto de custo-benefício. Através do protótipo construído foi possível analisar a agilidade em sua construção, possibilitando que somente uma pessoa já fosse capaz de executar uma tesoura em escala real com menos de um dia de trabalho. Foi necessária a utilização de ferramentas elétricas como furadeiras e serra de corte, porém, esses maquinários são de fácil acesso e pequeno custo.

A incorporação do eucalipto como elemento estrutural também trouxe à tona desafios importantes, como a necessidade de mais mão de obra e ferramental adequado. Apesar das dificuldades, o uso do eucalipto é viável em contextos onde a colaboração entre os membros da família é possível, alinhando-se ao estágio de desenvolvimento das comunidades rurais. As ferramentas utilizadas são de maior porte comparadas ao bambu,

sendo possível elencar motosserras, furadeiras de maior potência e serra circulares, porém, também são maquinários presentes no dia a dia da uma colheita, não se colocando como grande empecilho dentro do cenário de uma plantação já estabelecida.

Por fim, o aproveitamento da biomassa em SAFs mais maduros mostrou-se uma solução inovadora para a geração de energia elétrica. A possibilidade de implementar pequenas usinas movidas a biomassa destaca-se como um exemplo de como a arquitetura e a agricultura podem convergir para criar sistemas integrados, fornecendo recursos sustentáveis não apenas para construção, mas também para suprir demandas energéticas locais.

Em consonância com os objetivos traçados, o estudo contribuiu para avançar no entendimento sobre como integrar saberes tradicionais e soluções inovadoras, promovendo autonomia, sustentabilidade e melhoria da qualidade de vida no campo. A abordagem experimental utilizada permitiu avaliar o impacto direto do uso de materiais provenientes de SAFs em diferentes estágios, ampliando as possibilidades de replicabilidade dos resultados em outros contextos rurais.

Porém, é importante destacar que algumas limitações foram observadas. O acesso a ferramentas adequadas e a necessidade de treinamento específico para o manejo de materiais, como o eucalipto, são fatores que podem dificultar a adoção em larga escala. Além disso, o estudo de caso realizado em Visconde de Mauá, embora representativo, deve ser complementado com pesquisas em diferentes regiões e biomas, considerando as particularidades locais em termos de recursos naturais e demandas sociais.

Os materiais e sistemas construtivos abordados na pesquisa se limitam a disponibilidade e as necessidades encontradas no contexto do estudo de caso, portanto, estudos neste sentido se fazem necessários para cada plantação específica, fato que demonstra exatamente a pluralidade dos potenciais que podem ser observados neste tipo de integração entre agricultura sintrópica e arquitetura sintrópica, possibilitando resultados diversos para situações e carências diversas.

Desta forma, conclui-se que a integração entre arquitetura e agricultura sintrópica representa uma alternativa viável e promissora para atender às necessidades habitacionais e produtivas de pequenos agricultores. O uso de materiais naturais e renováveis, aliado à aplicação de princípios de sustentabilidade e autogestão, pode ajudar a transformar a realidade do campo brasileiro, promovendo autonomia e preservação ambiental. Como

próximos passos, sugere-se a ampliação da pesquisa em cenários variados e o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem a implementação de soluções sustentáveis no meio rural, potencializando o impacto social e ambiental desta abordagem.

As reflexões de Rita de Cássia (2022) sobre o discurso superficial da sustentabilidade na arquitetura dialogam diretamente com os resultados apresentados nesta pesquisa. Segundo a autora, a sustentabilidade, muitas vezes instrumentalizada como ferramenta de marketing, perde sua essência ao se desconectar de práticas genuínas que promovam equidade ambiental e social. Nesse sentido, os sistemas agroflorestais sucessoriais e os métodos construtivos explorados nesta dissertação representam uma resposta prática a esse desafio, ao proporem uma integração simbiótica entre agricultura e arquitetura que prioriza o uso sustentável de recursos naturais e a valorização dos saberes locais.

Assim, a crítica de Saramago (2022) reforça a necessidade de ir além de soluções superficiais, alinhando a produção arquitetônica a valores éticos e ao cuidado com o ambiente. Essa conexão evidencia que os sistemas agroflorestais não apenas fornecem materiais construtivos viáveis, como bambu e biomassa, mas também criam oportunidades para fortalecer comunidades rurais por meio da autogestão e da preservação cultural. Conclui-se, portanto, que a união entre arquitetura sustentável e agroflorestas pode oferecer um modelo transformador, capaz de alinhar a prática arquitetônica a um futuro verdadeiramente sustentável e socialmente justo que só será atingido quando estiver alinhado ao conceito de justiça ambiental.

Essa integração entre arquitetura e agricultura permeia todo o trabalho e se coloca como viável desde as pesquisas teóricas até as experimentações práticas, reafirmando sua potência e sua justificativa, que por muito tempo foram propositalmente enfraquecidas. Este trabalho se coloca como um grito para o empoderamento e emancipação do pequeno produtor rural, entendendo que seja necessário o aparecimento de mais construções como as de Bauci, cidade visitada por Marco Polo e menos escolas de tijolo e concreto nas margens do rio Juma.

7. REFERÊNCIAS

ABDO, M. T. V. N.; VALERI, Sérgio Valiengo; MARTINS, Antônio Lúcio Mello. Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: uma parceria interessante. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária, v. 1, n. 2, p. 50-59, 2008.

ABRAMOVAY, R. Paradigmas do capitalismo agrário em questão. São Paulo, Anpocs; Unicamp; Hucitec, 1992.

ALBERNAZ, Maria Paula; LIMA, Cecília Modesto Dicionário ilustrado de arquitetura. São Paulo: ProEditores, 1998.

ALTOÉ, E. S. Diretrizes Projetuais Para Edificações Unifamiliares em Toras de Eucalipto no Espírito Santo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Materiais) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 149. 2009.

ALTOÉ, Emanuella Sossai; DE ALVAREZ, Cristina Engel. Construções em toras de eucalipto no Espírito Santo. IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2007.

ALVES, E.; SOUZA, G. da S. e; MARRA, R. Êxodo e sua contribuição à urbanização de 1950 a 2010. Revista de Política Agrícola, Brasília, DF, ano 20, n. 2, p. 80-88, abr./jun. 2011.

BARBOSA, J. C.; MORALES, E. A. M.; SOUZA, A. J. D. de.; CAMPOS, C. I. de.; ARAÚJO, V. A. de. Estudo de tipologias construtivas vernaculares em madeira pós-enchente em São Luiz do Paraitinga, Brasil. In: CIMAD 11 – 1º Congresso Ibero-LatinoAmericano da Madeira na Construção, 2011.

BARBOSA, AVL de et al. Evolução e percepção dos sistemas agroflorestais desenvolvidos pelos agricultores nipo-brasileiros do município de Tomé-Açu, estado do Pará. Amazônia: Ciência & Desenvolvimento, v. 5, n. 9, p. 121-151, 2009.

BERNARDES, M. S. 2008. Sistemas Agroflorestais. In: XXXIII SECITAP. Jaboticabal: UNESP, Palestra.

BICALHO, Elizá Pereira Guimarães, - O contributo dos materiais renováveis para uma arquitetura sustentável no século XXI - Lisboa. - Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Artes da Universidade Lusíada. 2020.

BOELSUMS, J.; SANSEVERO, J.; TAVARES, P. Agroforestry as a Biodiversity Conservation Tool in the Atlantic Forest: Motivations and Limitations for Small-Scale Farmers. MDPI, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com>. Acesso em: 24 nov. 2024.

BRAZ, R. L.; NUTTO, L.; MATO, J. L. M. Efeito da poda sobre a qualidade da madeira de *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. *Scientia Forestalis*, v. 45, n. 114, p. 261-274, jun. 2017.

CALIL JUNIOR, C.; BRITO, L. D. Manual de projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento. São Carlos: EESC/USP, 2010. 332p.

CANÇADO COELHO, Wellington. Sob o pavimento, a floresta: cidade e cosmopolítica. 2019. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/35246>. Acesso em: 20 ago. 2024.

CARVALHO, Ana Paula. Sustentabilidade e materiais naturais: uma análise do ciclo de vida. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

CAVAIGNAC, Antonio José Lima. Revisão de literatura sobre o uso de fibras residuais da agroindústria como reforço de materiais alternativos para construção civil. Tese de Doutorado. Universidade do Oeste Paulista. 2023.

CHRISP, T. M.; CAIRNS, J.; GULLAND, C. The development of roundwood timber pole structures for use on rural. *Construction and Building Materials*, v. 17, p. 269- 279, 2003. ISSN DOI: 10.1016 / S0950-0618 (02) 00114-9.

CORREAL, F. F. (2020). Bamboo design and construction. In *Nonconventional and Vernacular Construction Materials* (pp. 521–559). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102704-2.00019-6>.

COSTA, P. Earthen Architecture, culture of transition and self-construction. In: CORREA, M.; CARLOS, G.; ROCHA, S. *Vernacular Heritage and Earthen Architecture*:

contributions for sustainable development. Boca Raton: Taylor & Francis Group, CRC Press, 2014.

COSTA, Silvia Kimo. Arquitetura Vernacular ou popular brasileira: conceitos, aspectos construtivos e identidade cultural local. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, v. 24, n. 35, 2017.

DA SILVA, Igor Cesar Rosa; DE OLIVEIRA, Ana Karla Freire. Fibra de piaçava: Possibilidades no Design Sustentável e Economia Circular. 2020.

DEL GROSSI, M. E. ; MARQUES, V. Agricultura familiar no censo agropecuário 2006: o marco legal e as opções para sua identificação. Estudos Sociedade e Agricultura (UFRJ), v.18, p. 127-157, 2010.

FARIA, Célia Neves Obede Borges (org). Técnicas de construção com terra. - Bauru : FEB-UNESP / PROTERRA, 2011.

GAVIN, François. The Archaeology of Urbanism in Ancient Egypt: From the Predynastic Period to the End of the Middle Kingdom. Cambridge University Press, 2019.

GHAVAMI, KHOSROW; MARINHO, ALBANISE B. Propriedades geométricas e mecânicas de colmos dos Bambus para aplicação em construções. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 415-424, 2003.

GHAVAMI, K. Development of structural elements using bamboo. The role of bamboo in disaster avoidance international. In: INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN (INBAR), 2001, Guayaquil, Equador. Proceedings... Guayaquil, 2001. p.1-17.

GÖTSCH, Ernst. Break-through in agriculture. Rio de Janeiro: AS-PTA. 1995.

GUIMARÃES, S.S. Vegetable fiber-cement composites. In: international symposium on vegetable plants and their fibres as building materials, 2., 1990, Salvador. Proceedings... London: Chapman and Hall, 1990. p. 98-107. Rilem Proceedings, 7.

HIDALGO, Oscar. Bamboo, The Gift of the Gods. Quindío. Colombia. 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. Censo Demográfico 2010: resultados gerais da amostra. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2010.

LAMARCHE, H. (Coord.) *L'Agriculture Familiale II: d'utopie à la réalité*. Paris, L'Harmattan, 1994.

LAMARCHE, H. (Coord.). *A agricultura familiar I: uma realidade multiforme*. Campinas, 86 Editora da UNICAMP, 1993.

LEÃO, M.A.. *Fibras de licuri: um reforço vegetal alternativo de compósito polimérico*. 2008 Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2008.

LENZI, Cecília Corrêa. *A habitação camponesa no programa MCMV*. 2017. 142 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

LIESE, W. (1998). *The anatomy of bamboo culms*. Technical Report. International network of bamboo and Rattan, Beijing. Peoples Republic of China, pp.203.

LIMA JÚNIOR, G. *Arquitetura vernacular praieira*. Recife: Programa Petrobras Cultural, 2007. ISBN 9788590736103.

LION FILHO, C. A. P. Q. *Desenvolvimento e caracterização de compósitos a partir da borra da piaçava para construção da parábola de um fogão solar a concentração*. 2013. 197f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2013.

LOPEZ, O. H. (1981). *Manual de construcción con bambu*. Estudios Técnicos Colombianos LTDA. Universidad Nacional de Colombia. Cali.

LORA, Electo Eduardo Silva; ANDRADE, Rubenildo Vieira; ARADAS, Maria Eugenia Corria. *Geração elétrica em pequena escala a partir da gaseificação de biomassa*. Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural, 2004.

MARÇAL, Vitor Hugo Silva; AMBIENTAL, CIVIL E. *Uso do bambu na construção civil*. Projeto final em Engenharia Civil e Ambiental. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília, 2008.

MARQUES, Sara Corrêa; LUIZ, Gabriel Andrade; DA SILVA, Thalles Gumieri. *Emprego do bambu na construção civil*. Epitaya E-books, v. 1, n. 12, p. 72-81, 2020.

MATTEI, L. Pronaf 10 anos: mapa da produção acadêmica. Brasília (DF), SAF/MDA, 2011.

MAY, Peter Herman; TROVATTO, Cássio Murilo Moreira. Manual Agroflorestal para a Mata Atlântica. Brasília: Ministério do Desenvolvimento. 2008.

MICCOLIS, Andrew et al. Restauração ecológica com sistemas agroflorestais. Como conciliar conservação com produção-opções para cerrado e caatinga. Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal. Brasília: ICRAF, 2016.

MINKE, Gernot. Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture, Berlin, Boston: Birkhäuser, 2022.

MONGABAY. Brazil's agroforestry farmers report many benefits, but challenges remain. 2019. Disponível em: <https://news.mongabay.com>. Acesso em: 24 nov. 2024.

MOREL, Jean-Claude; CHAREF, Rabia; HAMARD, Erwan. Earth as construction material in the circular economy context: practitioner perspectives on barriers to overcome. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, v. 376, n. 1834, p. 20200168, 2021.

NETO, Nelson Eduardo Corrêa; MESSERSCHMIDT, Namastê Maranhão; STEENBOCK, Walter; MONNERAT, Priscila Facina. Agroflorestando o mundo de facção a trator. Barra do Turvo: Associação dos Agricultores Agroflorestais de Barra do Turvo e Adrianópolis, Cooperafloresta. 2016.

OLACIA, E.; PISELLO, A.; CHIODO, V.; MAISANO, S.; FRAZZICA, A.; CABEZA, L.; Sustainable adobe bricks with seagrass fibres. Mechanical and thermal properties characterization. Construction and Building Materials. V 23910, N 117669, 2020.

PARTEL, P. M. P. Painéis estruturais utilizando madeira roliça de pequeno diâmetro para habitação social: desenvolvimento de produto. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). São Carlos: Universidade de São Paulo, 2006.

PATARRA, Neide Lopes. Movimentos migratórios no Brasil: tempos e espaços. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Ciências Estatísticas, 2003.

PINHEIRO, C., RUGGIERO, J. K. C., SOUZA, B., BITTENCOURT, P. G., LENTINI, M. W. Produção de telhas de madeira (cavacos) por comunidades rurais da

Amazônia: uma alternativa de renda para o pequeno produtor florestal no manejo florestal comunitário e familiar. Boletim Técnico. Instituto floresta tropical - IFT, 2012.

PINTO, Luísa Cristina et al. European Green Deal, digitalização da economia e blockchain: o caminho para a sustentabilidade? European Green Deal, Digital Economy and Blockchain: the path to sustainability?. International Journal of Digital Law, v. 2, n. 2, p. 11-32, 2021.

POLLOCK, S. (1999) Ancient Mesopotamia, Cambridge University Press.

PROMPT, C. H.; BORELLA, L. L. Experiências em construção com terra no segmento da agricultura familiar. Terra Brasil - III Congresso de Arquitetura e Construção com terra no Brasil, 2010. Campo Grande - MS.

RABELO, O. H. (2020). Coberturas ecológicas para aplicação em moradias dos assentamentos da reforma agrária: Alternativas deecoinovação. E&S Engineering and Science, v. 8, n. 1, p. 41-61, 2019.

RIBEIRO, Carla Marinho. Bioarquitetura e sustentabilidade: o papel dos materiais renováveis nas construções do século XXI. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

RICCARDO, A. et al. A biomass small-scale externally fired combined cycle plant for heat and power generation in rural communities. Renewable Energy Focus, vol. 28, 2019.

ROBERTO, Zenni Savaris; KLEIN, Regina Andreia; KORVER, Julio Marcos Pimentel. Desempenho térmico de edificações habitacionais em madeira em três municípios de pequeno porte da região sul do Brasil. Engenharia na Agricultura, 2020.

RODRIGUES, Edson Pereira; BICALHO, Ana Paula; DA SILVA, Eduardo Fávero. Eficiência energética em edificações em madeira de pequeno porte em temperaturas tropicais. Ambiente Construído, v. 20, n. 4, p. 163-179, 2020.

SA, Henrique Eduardo Oliveira de. Aspectos do uso da madeira na arquitetura. FAUUSP, 1982.

SANTOS, Clarissa Armando dos et al. Construção com terra no Brasil: panorama, normatização e prototipagem com terra ensacada. 2015.

SANTOS ROCHA, FILIPE; SOARES PFLUEGER, GRETE. modernidades vernaculares: estudo da habitação moderna rural no maranhão.2022

SARAMAGO, Rita de Cássia Pereira. Arquitetura sustentável? Quando o discurso não mais sustenta um futuro para a prática arquitetônica. 2022. Tese (Doutorado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022. doi:10.11606/T.102.2022.tde-24062022-125604.

SAVASTANO JÚNIOR, Holmer; PIMENTEL, Lia. Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, n. 1, p. 103-110, 2000

SCHMIDT, Carlos Borges. Construções de taipa: alguns aspectos de seu emprego e da sua técnica. São Paulo: Secretaria da Agricultura, 1946.

SHEA, Andrew; WALL, Kate; WALKER, Pete. Evaluation of the thermal performance of an innovative prefabricated natural plant fibre building system. Building Services Engineering Research and Technology, v. 33, n. 2, p. 127-142, 2012.

SCHNEIDER, Sergio; CASSOL, Abel. A agricultura familiar no Brasil. Serie documentos de trabajo, n. 145, 2013.

SILVA, Julia Cruz da. Parâmetros construtivos para painéis verticais adaptados do sistema wood frame em madeira de eucalipto jovem. 2019.

SILVA, Mariana de Souza. Sistemas Sustentáveis e Resilientes: A Interface entre Agricultura e Arquitetura Sintrópica. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

SILVA, Mariana de Souza; SOUZA, Carlos Alberto. Integração Sintrópica: Potencialidades e Limites no Design Urbano Sustentável. Revista Brasileira de Sustentabilidade, v. 12, n. 3, p. 45–60, 2021.

SOUZA, João Carlos; LIMA, Maria Fernanda. Contribuições dos materiais naturais para o conforto térmico e acústico nas edificações. Revista Brasileira de Construção Sustentável, v. 8, n. 2, p. 123-138, 2019.

STENGERS, Isabelle. Cosmopolitics I. Minneapolis: University of Minnesota Press, 2004.

SULAK, K.; RONZELLI, P. Manual de Construcción con Bambu. GTZ, 1993.

TAVARES, P. Pavilhão Terra – Brasil. Bienal de Arquitetura de Veneza 2023, 2023. Disponível em: <https://www.koozarch.com>. Acesso em: 24 nov. 2024.

TEIXEIRA, Rubenilson Brazão. Arquitetura vernacular. Em busca de uma definição. *Arquitextos*, São Paulo, ano 17, n. 201.01, Vitruvius, fev. 2017 <https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/17.201/6431>.

VAL, Ayse Saygin; BONNICKSEN, Thomas M. Strength and related properties of woods grown in the United States. Madison, Wis.: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1970.

VAN DER LUGT, Piet; VOGTLÄNDER, Joost; BREZET, Han. Bamboo, a sustainable solution for Western Europe: Design cases, LCAs and land-use. *Journal of Cleaner Production*, v. 17, n. 5, p. 1260-1269, 2009.

VAN LENGEN, Johan. Manual do Arquiteto Descalço-2. Bookman Editora, 2021.

VEIGA, J. E. O desenvolvimento agrícola: uma visão histórica. São Paulo, Hucitec, 1991.

VOSSSEN, Rene. Full Value Forestry: A new framework for the forest transition. In: *Forest, Trees and Livelihoods*. 2021. vol. 30, n. 2, p. 161-177.

WEGMANN, Karl. Bamboo. Schiffer Publishing, 2018.

WEIMER, Günter. Arquitetura popular brasileira. Martins Fontes, 2005.

YURA, D. R. et al. Propriedades físicas e mecânicas de telhas de cimento-amianto de pequenas propriedades do Paraná. *Revista Energia na Agricultura*, Botucatu, SP, v. 32, n. 1, p. 32-45, 2017.