

# ANÁLISE COMPARATÓRIA DE UMA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL E CONVENCIONAL

da SILVA, J.F.A<sup>1</sup>; DIB, R.C<sup>2</sup>.

Orientadora: Profa. Dra. Renata Lima Moretto<sup>3</sup>

Universidade São Francisco

[Jeff.franco09@hotmail.com](mailto:Jeff.franco09@hotmail.com); [Rafaela\\_dib@hotmail.com](mailto:Rafaela_dib@hotmail.com)

Alunos do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus de Bragança Paulista

Professora do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus de Bragança Paulista.

**Resumo.** A história vem, através de inúmeras maneiras, relatar os diversos caminhos e aprendizados que a humanidade obteve ao longo do tempo, dando origem as primeiras construções que resultaram nas premissas da engenharia civil. Porém, existem alguns pontos negativos dentro deste uso sendo eles relacionados diretamente aos impactos causados ao meio ambiente, principalmente com relação a liberação de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) e gases prejudiciais que ocorrem no processo de obtenção e fabricação de alguns materiais. Surgindo uma procura por novas técnicas e materiais, fazendo com que haja mudanças de valores no ramo da construção civil, fazendo assim com que o cenário construtivo, priorize fatores ambientais, sociais e culturais. A partir da análise econômica referente a residência unifamiliar foi observado que um maior custo com base aos componentes selecionados foram os materiais sustentáveis, porém que esse custo pode ser abatido pelo uso da energia fotovoltaica em cerca de 6 anos. Foi observado que em relação ao comparativo de resistência o material que sofreu a maior deformação, faz parte dos elementos sustentáveis, este que é o bambu utilizado neste estudo.

**Palavras-chave:** Métodos construtivos, convencionais, sustentável, meio ambiente.

## Abstract

**Key Words:** Constructive methods; conventional; sustainable; environment.

## Introdução

### 1. OBJETIVO

Esta metodologia foi feita com o intuito, de realizar um levantamento de informações, baseando-se, em outros trabalhos, com o foco de comparar duas realidades construtivas distintas. Sendo que estes dados têm o objetivo de apresentar dois grupos de materiais, os convencionais e os sustentáveis, juntamente com suas características, e assim auxiliar nas futuras etapas do projeto, com conceitos teóricos e embasamento técnico. Podendo-se concluir a real importância desta primeira etapa, para todo o desenvolvimento do trabalho, pois sem o conhecimento de ambos os grupos, tanto técnicos como teóricos, inviabilizam a possibilidade de se avaliar e compará-los.

Espera-se então que com estes dados levantados, possasse realizar, uma serie de análises, contidas na metodologia, como parâmetros de resistência e elasticidade, através de métodos teórico, técnicos e econômicos, para só assim realizar a comparação entre os meios, levando em conta os seus benefícios e desvantagens, perante os demais. Com o objetivo de descobrir, a partir desta comparação o porquê, da permanencia do uso dos materiais convencionais se

manter constante no meio, mesmo com a oportunidade da utilização de elementos ou técnicas que apresentem a mesma função, porém são mais sustentáveis, com os dados obtidos em cada análise.

## **2. HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

A história vem, através de inúmeras maneiras, relatar os diversos caminhos e aprendizados que a humanidade obteve ao longo do tempo, que resultaram nas presentes conquistas e descobertas, provando assim a importância do estudo da evolução humana e de suas civilizações. Com o crescente número dos abrigos ao redor de um mesmo campo de cultivo surgem as primeiras cidades, porém com métodos construtivos que variavam conforme o ambiente disponibiliza, mas com o mesmo objetivo, de prover segurança contra o clima e perigos diversos. (QUEIROZ, 2019).

Quando se fala de história da engenharia civil ou de qualquer outra profissão, é necessário deixar claro que existe uma relação direta com a história da humanidade, pois através de cada conquista ou feito obtido pelo ser humano, existe uma relação direta no rumo destes conhecimentos, proporcionando assim diferentes ramificações para o mesmo assunto devido as diferentes civilizações e culturas existentes. Historicamente a primeira cidade a ser construída foi Jericó, na Cisjordânia a 8000 a. C, seu principal foco era sua segurança sendo que seus muros foram construídos a base de adobe e em alvenaria de tijolos. Entretanto não superavam uma das maiores obras da humanidade a Grande Muralha da China que levou aproximadamente 2000 mil anos para ser concluída e tem uma extensão de 8.850 Km no qual foi construída por diversas dinastias que governaram a antiga China entre o ano 220 a. C. e o século XV (QUEIROZ, 2019).

Outra civilização muito importante para o desenvolvimento da engenharia civil e responsável por grandes descobertas para a humanidade, é a Roma antiga que foi capaz de construir redes de saneamento subterrâneas ainda no final do século VI a.C., com isso se tornando a primeira civilização capaz de tratar seu saneamento, possuindo grande aquedutos que ficavam nas montanhas e eram escoados até as cidades. Os romanos também se destacaram na construção de estradas pavimentadas, tendo algumas delas milhares de quilômetros de extensão, a mais famosa e ainda existente é a Via Ápia, que facilitava o comércio e a locomoção dos grandes exércitos romanos (SANTOS, 2017).

Essas necessidades de construir e melhorar fez com que a humanidade desenvolvesse algumas ciências de suma importância: aritmética, matemática e geometria, surgindo assim a base da engenharia. Porém esse conhecimento era transferido de forma empírica. Com o fim do império Romano (476 d.C.) e início da Idade Média, os responsáveis pelas atividades relacionadas a área da construção passaram a receber nomes de «mestres construtores» ou «mestres obreiros», essas profissões tinham tanta importância que permitia exclusivamente o direito do livre arbítrio, ato que só era permitido por seus senhores feudais. Sendo que os principais materiais utilizados na época eram madeira, tijolos e pedra usados tanto na alvenaria, quanto no estrutural. (QUEIROZ, 2019).

Outro grande avanço na construção civil, veio no ano de 1756, com a criação do cimento, por John Smeaton que surgiu a partir da calcinação calcário. Produto este que anos depois foi patenteado por Joseph Aspdinque na ilha de Portland, no qual ele queimou o calcário com argila que resultou em uma mistura muito resistente, surgindo assim o Cimento Portland (ABCP, 2009). Entretanto, a engenharia civil só começou a possuir o formato que se encontra atualmente, com a chegada da Revolução Industrial, que trouxe grandes avanços para a área com o surgimento do aço em 1856 mudando drasticamente o método construtivo com um material de alta resistência e que se enquadra nas exigências construtivas. (QUEIROZ, 2019). O Brasil dentro da história da construção civil é um país que possui uma série de influências construtivas variando conforme a região que se encontra, isso acontece por ser um país com

diferentes etnias, que marcaram sua herança cultural em formato de edificações. Entretanto a engenharia como ensino surge em 1699 nas “Aulas de Fortificação e Arquitetura Militar “na Bahia em escolas militares (RIBEIRO,2011).

## **2.2 Métodos construtivos dos dias atuais**

O conceito de ser convencional, vem da ideia de algo que se tornou comum dentro de um determinado ambiente ou época, e possui uma taxa de sucesso elevada. Ao colocar este conceito na área da construção civil, pode-se observar que existem materiais e métodos construtivos de maior uso, que devido a determinadas circunstâncias foram mais bem aceitos ou mais adaptados à cultura que o emprega.

### **2.2.1 Métodos construtivos convencionais no Brasil**

A construção civil brasileira em sua grande maioria utiliza-se de método construtivo que são considerados convencionais para o país, no qual é composta por elementos estruturais como pilares, vigas, lajes e fundações de concreto armado que trabalham realizando a distribuição das cargas, já os elementos de vedação, são utilizados tijolos cerâmicos. Segundo Vasconcelos, o uso do concreto dentro do mercado da construção brasileira começou a ser empregada no início do século XX, por empresas que não eram nacionais, porém apenas em grandes obras, mas por ser um material muito eficiente e com muitos benefícios, em 1930 começou a ganhar espaço dentro das edificações, combinado com blocos. A partir de 1940, surgem normas para a utilização deste material através da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e anos depois se tornando a técnica mais utilizada dentro do país.

Na execução da estrutura por meio deste método os pilares e vigas, são criados com tábuas de madeira como formas, compostos por concreto moldado in loco e aço estrutural. Para isso, deve-se realizar cálculos estruturais, executados por engenheiros especializados na área, gerando assim o projeto estrutural, onde é definido as grandezas destes elementos, o diâmetro das barras e o traço do concreto. (CORREA, 2020). Em relação a vedação é utilizado a alvenaria que é composta na maioria das vezes por blocos cerâmicos que não possui a capacidade de suportar cargas, mas apenas a função de fechar a edificação e dividir os ambientes internos. Entretanto esse tipo de alvenaria apresenta alguns pontos negativos, sendo que é um material que possui uma taxa de quebra elevada, resultando assim em um grande desperdício e gerando resíduos. (VASQUES, 2014).

Após as paredes estarem prontas é preciso quebrá-las parcialmente para a passagem das instalações hidráulicas e elétricas, seguindo assim para o revestimento que será realizado com chapiscos, massa grossa, massa fina e finalizando com a pintura. Dentro da construção civil brasileira, o método convencional é o mais popular e a que mais gera empregos, entretanto possui uma baixa produtividade e uma alta porcentagem de desperdício de material (TREVEJO, 2018).

### **2.2.2 Impactos ambientais dos métodos convencionais**

Fatores de funcionalidade, custo econômico reduzido e mão de obra de fácil alcance, são algumas das características que definem as técnicas convencionais da construção civil. Porém, também existem alguns pontos negativos dentro deste uso sendo eles relacionados diretamente aos impactos causados ao meio ambiente. Características essas que se enquadram nos parâmetros dos materiais utilizados em uma construção feita por métodos convencionais. Outro impacto resultante do processo construtivo é a liberação de CO<sub>2</sub> e demais gases prejudiciais ao meio ambiente, emissão essa que ocorre no processo de obtenção e fabricação de alguns materiais. Justamente os materiais mais comuns em construções brasileiras. O

cimento se encontra nesta lista pois é responsável por 10% da emissão total de CO<sub>2</sub> no Brasil, tendo uma produção anual de 38 milhões de toneladas de cimento, resultando em aproximadamente 22,8 milhões de toneladas de gás carbono, gerado a partir do seu processo de fabricação. (TOLEDO, 2004, apud STACHERA, 2008).

Juntamente ao cimento, os demais componentes do concreto, também são grandes vilões ao meio ambiente, começando pelos agregados principais, sendo estes a areia e a brita, que realizam a emissão de gases através de terceiros, no seu transporte e na sua obtenção, pois devido a utilização de grandes volume destes materiais no meio construtivo a sua retirada e transporte são realizados por grandes máquinas, que conseqüentemente são movidas a combustão, aumentando assim a poluição expelida na atmosfera. (STACHERA 2008).

Com a introdução do aço na construção civil, surgem grandes avanços dentro deste meio possibilitando novas maneiras de se construir e impulsionando o mercado, entretanto mesmo esse material sendo tão essencial, seus impactos ao meio ambiente são bem nocivos. Pois sua produção é feita através do processo siderúrgico do minério de ferro, no qual é realizado a adição de carbono, até chegar na resistência desejada, isso resulta na emissão de diversos componentes prejudiciais no ar, como o óxido de enxofre, óxido de carbono, metais pesados, entre outros. (OLIVEIRA, 2014, apud CUNHA 2016).

## **2.3 Sustentabilidade**

A partir do momento que a humanidade passou a produzir e criar apenas para o seu desenvolvimento e evolução, não mais para sua sobrevivência, surge como principal parâmetro o lucro e a necessidade de cumprir prazos, porém pouco se era debatido sobre o que essa evolução desenfreada causaria nas próximas gerações, sendo que muitas técnicas utilizadas eram realizadas com materiais finitos. Entretanto essa ideia de desenvolvimento sustentável, é um termo muito recente se comparado a toda história da humanidade, sendo que pouco se falava até a da década de 60, no qual em 1968 com a conferência Clube de Roma, surgem as primeiras ideias e comentários sobre sustentabilidade, apresentadas por diferentes estudiosos de diversos países. Já em 1992 é realizado no Rio de Janeiro o evento ambiental mais importante do século, denominado ECO-92, no qual reuniu 175 países onde foram debatidos assuntos como mudanças climáticas, biodiversidade e o surgimento da Agenda 21, documento este que propõem objetivos e metas, para impulsionar o desenvolvimento sustentável. (CORRÊA, 2009).

### **2.3.1 Sustentabilidade na construção Civil**

A realização das conferências em prol da sustentabilidade ao redor do mundo impulsionam o surgimento de um novo mercado, o sustentável, que atua em diferentes áreas, entretendo na construção civil se tornou tendência devido aos seus grandes impactos causados ao meio ambiente, estimulando o setor a desenvolver novas técnicas e métodos construtivos que resultam em mudanças consideráveis na forma que as empresas gerenciam e realizam suas obras, tirando o foco apenas no lucro, mas sim em um ambiente sustentável (CORRÊA, 2009).

Surgindo através destas ideias uma nova forma de se construir e de projetar, que possua como base três parâmetros, o social, o econômico e o ambiental, realizando uma integração das diversas áreas para garantir o resultado desejado, e com isso suprir as necessidades de cada componente desta nova forma de construir (RODRIGUES et al, 2010). Esse processo ganha mais força quando se tem o apoio de órgãos governamentais, investidores e empresas privadas, porém para se construir de formar sustentável deve-se seguindo uma série de requisitos básicos com um intuito sustentável, que são Adequação ambiental, viabilidade econômica, Justiça social e aceitação Cultural.

Ao seguir estes parâmetros abre espaço para inovar ou se reinventar, permitindo assim o surgimento de novas técnicas e materiais que usualmente não possuíam funções construtivas, mas devido a sustentabilidade essas características vieram à tona. Porém ao se construir seguindo estas ideias, o cuidado deve ser redobrado pois para que uma obra seja realmente sustentável é necessário manter esse processo em todo ciclo de vida do empreendimento. (YEMAL, TEIXEIRA, NAAS, 2011)

### **2.3.2 Casa Ecológica**

Mantendo a ideia de um planeta mais sustentável e de recursos finitos para as próximas gerações, algumas soluções tomaram forma e começaram se tornar realidade dentro da construção civil, surgindo assim o termo casa ecológica, que vem com a promessa de gerar moradia e amenizar os danos ao meio ambiente, utilizando apenas materiais renováveis e técnicas sustentáveis.

Com essa visão, o projeto de uma casa sustentável, deve receber o dobro de atenção pois todos os detalhes são fundamentais para o resultado da obra, sendo assim a escolha da sua localização e seu posicionamento influenciaram na utilização deste conceito ecológico, e resultando em uma diminuição no uso de lâmpadas e aquecedores. Entretanto para pôr em prática essas técnicas sustentáveis, é necessário ter um investimento maior devido ao custo da matéria prima e mão de obra, serem mais elevados, porém o seu benefício vem a longo prazo, estima-se que seu retorno econômico é de 30% referente ao consumo diário. (LOPEZ, CALIFICE, MAESTRI, 2012).

É necessário selecionar os materiais estruturais e de vedação, que devem ser de fontes naturais e renováveis, mas esses não são os únicos fatores a serem considerados pois é ideal que uma casa sustentável apresente uma energia “limpa” e um sistema de reaproveitamento de água, para que mesmo ao término da obra o interesse pela sustentabilidade continue, e ao mesmo tempo não perca os conceitos básicos de uma moradia que são fornecer conforto e praticidade para seus moradores. Esse conceito sustentável permite viabilizar outras áreas como a reciclagem, pois está diretamente ligado ao reaproveitamento de materiais, transformando resíduos em novos produtos, sendo que muitos desses apresentam 100% de reaproveitamento, sendo não apenas os industriais, mas de diferentes áreas. (LOPEZ, CALIFICE, MAESTRI, 2012).

### **2.3.3 Certificações ambientais na Construção Civil**

Com a criação de diversos parâmetros e diretrizes, que acompanham o ciclo de vida de uma construção sustentável, surge a necessidade de avaliar o quanto esses conceitos estão sendo aplicados, este processo de avaliação recebe o nome de certificados ambientais da construção civil. Mas de uma forma geral, eles indicam através de um processo de pontuação o desempenho de cada empreendimento, conforme o cumprimento de uma série de requisitos estabelecidos pelo certificado, sendo eles de âmbito ambiental, construtivo, climático e social. (LEITE, 2011).

O Brasil também adotou essa ideia de certificados ambientais, tendo em uso sete tipos, sendo eles BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) do Reino Unido, o DGNB (*German Sustainable Building Council*) da Alemanha, o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) dos Estados Unidos, todos esses internacionais, porém adaptados para os meios construtivos nacionais. Entre estes citados acima o mais utilizado é o certificado LEED, no qual foi criado por *Green Building Council* em 1993, porém somente utilizado no Brasil em 2007, mas tendo grandes taxas de aceitação ao redor do mundo e nacionalmente, sendo que em 2016 o país já ocupava o quinto lugar no ranking mundial com maior número de edificações certificadas.

Para entender como esse certificado funciona, é necessário primeiramente indicar em qual categoria o empreendimento em estudo se encontra, possuindo quatro sistemas diferentes que são o LEED BD + C (*Building Design + Construction*, que está relacionado a grandes reformas e novas obras), o LEED ID + C C (*Interior Design + Construction* se trata de projetos de interiores, buscando uma melhor qualidade de vida para os moradores, juntamente com a sustentabilidade), o LEED O + M (*Operation e Maintenace*, é voltado para manutenções de empreendimentos já existentes), e por fim o LEED ND (*Neighborhood*, proporcionando o desenvolvimento de bairros mais sustentáveis, levando em consideração toda a comunidade). (RODRIGUES et al, 2019).

Além de ser um certificado, o LEED vem como uma ferramenta para quem quer construir de forma sustentável, indicando qual é o melhor caminho e a melhor forma. E por fim levar benefícios para esse campo na construção civil, pois um empreendimento que possui essas certificações, apresenta um diferencial perante as obras convencionais, sendo mais valorizado economicamente visto que o mercado sustentável cresce cada vez mais. Outro benefício está relacionado diretamente com o proprietário, que está colaborando por um planeta melhor, para as próximas gerações (LEITE, 2011).

## **2.4 Materiais convencionais da construção civil**

Dentro do mercado da construção, existem métodos mais utilizados e aceitos pelo meio, porém dentro destes ainda existem os materiais convencionais, que originalmente possuem sua função construtiva dentro de cada obra, sem necessariamente possuir um segundo intuito, como por exemplo o de reduzir impactos ambientais. Estes materiais variam de uma cultura para outra, devido a uma série de fatores que envolvem a história daquela nação e sua economia. Entretanto para este trabalho, será abordado os materiais convencionais disponíveis no mercado brasileiro.

### **2.4.1 Vedação**

Dentre os vários elementos que compõem uma edificação, os de vedação tem como função dividir os ambientes e proteger o interior do empreendimento das possíveis intempéries. O bloco cerâmico, que segundo a NBR 15270-1 (2005) norma que regulamenta este material, e o considera como tipo de alvenaria que não possui a função de suportar elevadas cargas. Sendo ele dividido em cinco categorias principais, que são definidas por sua largura (9 cm, 11,5 cm, 14 cm, 19 cm, 24 cm), além de apresentar outras subcategorias que são divididas em altura e comprimento. Dimensões estas que devem ser respeitadas, juntos com outros requisitos estipulados pela norma, para que o material seja reconhecido como o mesmo, exigências essas que envolvem questões mecânicas, pois este elemento deve apresentar uma resistência a compressão de 1,5 MPA para blocos com furos na horizontal e 3,0 MPA no caso de furos verticais.

Fatores estes que contribuem para que este material seja um dos mais utilizados dentro do ramo pois sua variedade de tamanhos, permitem que ele se adeque a diferentes projetos e necessidades de obra, e outra vantagem do seu uso é a capacidade de poder ser revestido, possibilitando um leque de escolhas em relação ao seu acabamento. Resultando assim na necessidade de possuir uma equipe qualificada e um projeto bem detalhado, pois este processo quando feito de maneira despreparada pode gerar grandes perdas de material e retrabalhos, aumentando assim o custo da obra e do tempo de serviço. (HASS & MARTINS, 2011).

Dentro desta norma ainda é indicado para o assentamento de blocos cerâmicos o uso de uma argamassa mista composto por cimento e cal hidratada, mas também podendo-se utilizar a industrializada. Porém, antes de começar esta fase do levantamento da alvenaria, o preparo

do local é de suma importância, necessitando assim realizar a demarcação da passagem da primeira fiada de blocos, para que não haja um desalinhamento das paredes, além de um preparo no solo impossibilitando o surgimento de possíveis desníveis, que não estejam considerados em projeto. (MAIORANO & LIMA, 2017).

#### **2.4.2 Tipo de Estrutura**

Os elementos que têm como finalidade suportar todas as cargas provenientes de forças externas ou até mesmo da própria edificação, e transferi-las para o solo são os elementos estruturais. O concreto armado, é um dos elementos mais utilizados na construção civil, componente este presente em mais de 90% das residências brasileiras, e em diversos países ao redor do mundo no qual é composto por uma massa de concreto que reveste barras de aço. (CAMPOS, MARCHETTI, 2018)

Uma união benéfica para ambos os componentes pois o aço, tem origem a partir do ferro, possuindo assim uma alta resistência a compressão e tração, entretanto ao entrar em contato com gases nocivos e a umidade provocam a sua oxidação, afetando diretamente em sua resistência, já o concreto proveniente da pedra natural, é um material que apresenta uma ótima resistência mecânica, suportando altas cargas de compressão, porém é frágil quando exposto a tensão de tração. Ao uni-los, se obtém um composto com uma elevada resistência à compressão e alta resistência à tração. No qual o aço supre as limitações impostas pelas tensões de tração no concreto, que por sua vez protege dos danos naturais sofridos pela oxidação, evitando de ser corroído. Entretanto, alguns pontos negativos também estão presentes no seu uso, pois por ser um elemento que muitas vezes é moldado in loco, exige a necessidade de possuir formar para suas estruturas, além de um bom escoramento até que ele obtenha sua resistência máxima, gerando assim uma maior compra de material e um elevado número de resíduos. (BASTOS, 2019).

#### **2.4.3 Fontes de energia**

As fontes de energia se tornaram algo essencial para a humanidade, sendo sua descoberta um enorme avanço na evolução, proporcionando assim uma melhor qualidade de vida e mais conforto, que resultou em uma dependência deste elemento.

Um dos métodos mais utilizados, a geração de energia elétrica, é a hidroelétrica no qual como seu próprio nome já diz usa-se a força hidráulica, e a transforma em energia. No Brasil essa tecnologia só foi implantada em 1950, como forma de apoio para as grandes indústrias que estavam sendo estabelecidas no país. O processo de geração de energia de uma usina hidrelétrica, se dá pelo fator da diferença de níveis, pois ao proporcionar isso a velocidade da água aumenta, juntamente com a sua força, processo este que se dá por uma série de elementos, sendo a barragem que controla o fluxo de água, que é direcionada para a casa de força, no qual é composta por uma turbina que é movimentada devido a força da água que por sua vez condiciona o gerador a produzir energia elétrica (SOUZA, MACHADO, PENHA, 2015).

As usinas hidrelétricas cresceram gradativamente por todo país visando apenas os benefícios imediatos, sem pensar nas consequências futuras que resultam em um impacto imensurável para a fauna e flora da região, devido a possíveis inundações e o grande porte que uma obra desta possui. Além dos prejuízos sociais e culturais que este método proporciona, devido algumas consequências que levam a desapropriação de algumas áreas,<sup>1</sup> e aumento considerável da população em cidades ao redor desses empreendimentos, que muitas vezes não possuem a infraestrutura necessária (BORTOLETO, 2001).

#### **2.4.4 Tipos de cobertura**

Segundo a NBR 15575-5 (2013), que é constituída para os sistemas de coberturas, e os define como um conjunto situado na elevação da edificação, com a função de proteger a mesma de possíveis intempéries, além de auxiliar no conforto térmico e acústico. A telha cerâmica, foi a que melhor se adequou ao mercado brasileiro, isso ocorre devido aos benefícios apresentados, pela sua matéria – prima, a argila, que ao ser elevada a altas temperaturas obtém um ganho de resistência, além de ser um material com propriedades plásticas, que facilitam o seu manuseio e a criação de diferentes formatos. Outro ponto que levou a sua popularidade é o fato de a argila ser um elemento de fácil obtenção, e a telha cerâmica poder ser obtida, não apenas por grandes indústrias, mas também por pequenos olarias, barateando assim o produto. (MACEDO,2007).

Fatores estes que contribuem para que este material seja um dos mais utilizados dentro do ramo pois sua variedade de tamanhos, permitem que ele se adeque a diferentes projetos e necessidades de obra, outra vantagem do seu uso é a capacidade de poder ser revestido, possibilitando um leque de escolhas em relação ao seu acabamento. Resultando assim na necessidade de possuir uma equipe qualificada e um projeto bem detalhado, pois este processo quando feito de maneira despreparada pode gerar grandes perdas de material e retrabalhos, aumentando assim o custo da obra e do tempo de serviço. . Dentro desta norma ainda é indicado para o assentamento de blocos cerâmicos o uso de uma argamassa mista composto por cimento e cal hidratada, mas também podendo-se utilizar a industrializada.

### **2.5 Materiais sustentáveis da construção civil**

Através das crescentes preocupações com o meio ambiente, juntamente com as medidas adotadas pelas conferências mundiais (ECO 92, Clube de Roma, entre outras), uma crescente procura por novas técnicas e materiais, surge. Proveniente destes fatos, fazendo com que haja uma mudança de valores no ramo da construção civil, no qual juntamente com o tempo de produção e a quantidade a ser produzida, surge a sustentabilidade, fazendo assim com que o cenário construtivo, priorize fatores ambientais, sociais e culturais.

#### **2.5.1 Vedação**

Com a constante transformação dos materiais na construção civil com foco sustentável, para a vedação não poderia ser diferente o surgimento de novos meios de se utilizar, nesta etapa sem prejudicar o meio ambiente e mantendo a qualidade necessária.

O tijolo ecológico, conhecido também como tijolo de solo-cimento ou modular, que como seu próprio nome diz é resultado da mistura entre solo, cimento e água podendo também possuir agregados obtidos de resíduos e outros materiais reutilizados. Sendo essa mistura prensada e não necessitando haver sua queima como é realizado nos tijolos convencionais, além de alguns de seus compostos serem encontrados no local da própria obra e produzidos in loco. Esses fatores geram um ganho sustentável, muito relevante sendo que devido a sua não queima, resultando na diminuição das taxas de desmatamento proveniente da lenha que seria utilizada, além da não emissão de gases que contribuem para a poluição e a escassa necessidade de extração da matéria-prima (PEDRAL, 2020).

#### **2.5.2 Tipo de estrutura**

Com um setor movido pela sustentabilidade, o bambu é introduzido no mercado constitutivo como uma solução “limpa”, e renovável, entretanto seu uso neste ramo, é algo milenar, devido ao fato de civilizações antigas já usufruírem do mesmo.

Porém os fatores que levam este material a se destacar no meio construtivo são diversos, sendo a sua alta resistência mecânica, e a capacidade de ser renovável em um curto período, além do seu fácil cultivo, pois três anos após apresentar as primeiras brotas, esta planta já possui uma resistência estrutural. Tudo isso alinhado ainda com o fato de ser um material leve, que facilita o seu transporte e reduz as cargas excessivas da estrutura, possibilitando fundações mais simples e gerando assim diversos ganhos econômicos para o empreendimento. (LANA, 2016).

Essa alta resistência só é possível devido a sua composição juntamente com o seu formato pois este elemento apresenta dentro do seu caule fibras em forma de feixes, situadas na direção longitudinal da planta, que juntamente com o fato de ser um cilindro e possuir uma altura máxima de 30 metros, possibilita o bambu a suportar até ventos de até 50m/s. Porém ele também apresenta alguns pontos negativos, sua durabilidade pode ser afetada se não houver o manuseio correto deste material, pois na sua composição apresenta amido, componente este que é atrativo para diferentes espécies de insetos. (MARÇAL, 2008).

### **2.5.3 Fontes de energia**

Em buscas de uma energia que cause menores danos ao meio ambiente e assim sendo renovável, surge a geração energia através da luz solar, também conhecida como energia fotovoltaica. Energia esta que proporcionou um novo modo de pensar despertando assim o interesse de diversas nações, devido a sua facilidade de obtenção e por possuir uma fonte renovável.

Em um contexto nacional o Brasil se apresenta, sendo iniciante no desenvolvimento da energia fotovoltaica, mesmo possuindo condições privilegiadas para sua implantação devido a sua localização e seu clima. Proporcionando assim dois sistemas distintos do uso das placas fotovoltaicas, no qual no processo que consiste na geração de créditos que serão abatidos no valor da conta, os painéis que recebem a luz solar á transformam em energia elétrica na forma corrente contínua que é transferida para um inversor a onda é modifica gerando corrente alternada e a enviando para o medidor da concessionária de energia e conseqüentemente para a rede da mesma. Já no processo de armazenamento de energia, a eletricidade gerada pelos painéis, vai direto para um controlador de carga e repassada para as baterias conforme a necessidade, deste ponto esta energia na forma de corrente contínua pode ser usada diretamente nas lâmpadas ou transformadas pelo inversor em corrente alternada, para as demais demandas. (MACHADO & MIRANDA, 2015).

### **2.5.4 Cobertura**

#### **2.5.4.1 Telhas ecológicas**

As telhas ecológicas podem variar de composição, pois existe uma variedade de opções e em busca de inovação e ecológico, surge as telhas vegetais ou também como são conhecidas “Onduline”, é um elemento com alto índice de resistência, durabilidade, escassa absorção termoacústica e leve. O interesse nesse método tem sido frequente no ramo da construção civil por conta destes benefícios e sendo feita de papéis recicláveis, utilizando a celulose e as fibras encontradas, em sua composição é aplicado materiais que diminuem a corrosão que pode ser ocorrida futuramente em seu uso. Entretanto, é favorável para deformações ocorridas pelo excesso de temperatura, isto é, o calor. As deformações podem ocorrer principalmente se não for projeto seguindo as especificações de inclinação necessária, quantidade de fixadores e

se não houver balanço no beiral para que resulte em um bom desempenho (MARTINS & BOETTGER, 2018).

As fibras incluídas na composição da produção do material, faz com que se tornem mais leves, por conta da redução de massa aparente da fibra e pela inclusão de ar durante o processo de mistura dos materiais. (JUNIOR, 2000). A adição de resina na composição de sua produção faz com que se torne resistente em relação aos raios UV, pois impede que ocorra a descamação do material. (MARTINS & BOETTGER, 2018).

Existe uma variedade de cor possível encontrada do material, sendo tingidas por pigmentos a base de betume e camufladas com resinas para que sua coloração permaneça constante ao longo do tempo de uso. Todos os tipos de telhas ecológicas citadas necessitam de manutenção para a eliminação de qualquer agente que prejudique sua qualidade e custos maiores futuramente, como por exemplo os fungos (MARTINS, BOETTGER, 2018).

## **2. Material e Métodos**

Com base nestes dados apresentados acima, podemos observar a existência de dois métodos construtivos distintos sendo que o primeiro deles, engloba os materiais de maior uso dentro do ramo, da construção civil denominados assim de “materiais convencionais”, já o segundo grupo, é composto por elementos que apresentem características benéficas para o meio ambiente, denominados de “materiais sustentáveis”. Mesmo sendo componentes, com premissas opostas, ambos os grupos apresentam característica e desempenhos técnicos favoráveis e comprovados por suas normas regulamentadoras, para a sua implantação e eficiência na construção de edificação. Com estes parâmetros regulamentados, é possível realizar a análise e a comparação destes métodos, com base em fatores comuns para ambos.

Para a realização deste procedimento, o primeiro passo é a escolha dos materiais que representarão os dois grupos, devendo apresentar características condizentes com a premissa de cada um dos métodos. Seguindo esta ideia os materiais convencionais deverão ser comumente usados dentro do mercado construtivo brasileiro, já os sustentáveis não devem apresentar características diretas que afetem o meio ambiente. Para realizar uma análise comparativa, mas seletiva, os materiais serão divididos em quatro classificações sendo elas: alvenaria, estrutura, cobertura e energia elétrica. Com a escolha dos materiais o próximo passo é realizar a comparação dos métodos, no qual serão levados em consideração fatores econômicos e de resistência.

### **2.1 Escolha dos Materiais**

Serão utilizados os materiais e métodos já especificados anteriormente neste artigo, entretanto é necessário dados mais específicos de cada um deles para a realização de orçamentos e obtenção de parâmetros de resistência, devido a este fator os materiais apresentaram as seguintes especificações:

#### **2.1.1 Componentes Alvenaria**

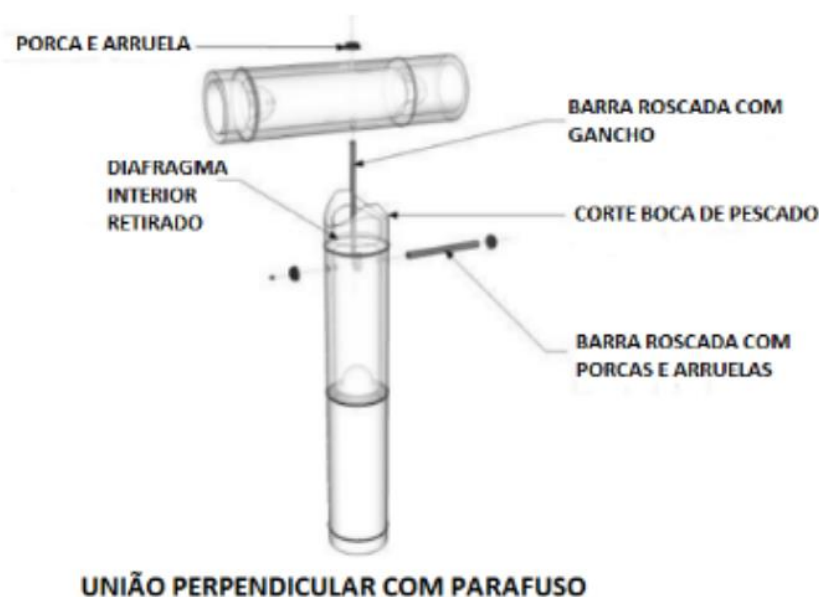
No grupo dos métodos convencionais foi definido a utilização dos blocos cerâmicos de vedação, devido a sua fácil obtenção e sua grande empregabilidade dentro das obras brasileiras, a “família” de blocos definidos para o estudo é a de 14x19x29 cm além da canaleta cerâmica de mesmas dimensões e o meio bloco de 14x19x 14 cm. Para sua implantação necessitasse do uso de argamassa que será utilizada para realizar a junção dos blocos com uma espessura de 1cm e o reboco externo e interno da edificação que possuirá 1cm de espessura.

Já para a alvenaria sustentável, um dos materiais que vem ganhando espaço no meio construtivo e se destacando por não agredir o meio ambiente é o tijolo ecológico, elemento este no qual será utilizado para a análise a “família” tipo 12,5x6,25x25cm sendo compostos pelo tijolo “inteiro” a canaleta de mesma dimensões e o meio tijolo com dimensões de 12,5x6,25x12,5cm. O elemento de junção utilizado é a cola branca especifica para este uso, que segundo a empresa Ecolojit especializada na venda deste material, seu rendimento médio é de 1 litro de cola para o assentamento de 1000 tijolos.

### 2.1.2 Componentes Estrutura

Os materiais responsáveis pela estrutura convencional a ser considerada para o estudo é o concreto armado, com isto foi definido o uso do concreto usinado pois apresenta um maior rigor em sua fabricação, a sua norma regulamentadora é a NBR 6118:2014, que estabelece um fck de 25 MPa, para edificações localizadas em áreas urbanas. Já para a escolha do aço foi definido vergalhões soldáveis de CA50 com a bitola mínima permitida também pela norma NBR 6118:2014 de 10mm (3/8”).

Para as estruturas sustentáveis o material escolhido foi o bambu, devido fato de ser um material renovável e de fácil obtenção, além do seu uso não resultar em danos ao meio ambiente, a espécie escolhida para a análise foi *bambusa tuldoides* popularmente conhecida como “taquara”, que apresenta um caule com diâmetro que varia de 4 a 6 cm compatível com o furo dos tijolos ecológicos, selecionados para a implantação do projeto. Para a junção deste material a norma regulamentadora NBR16828-1 estabelece a possibilidade de realizar essa união através de parafusos, como indicado na figura 1 desde que eles possuam um diâmetro maior do que 10mm



**Figura 1** – Imagem ilustrativa no qual indica como deve ser realizado a fixação de elementos de bambu na direção perpendicular ao eixo, com a utilização de parafusos (Fonte: NBR16828-1).

### 2.1.3 Componentes Cobertura

Dentre os tipos de coberturas convencionais, o selecionado para este estudo foi a telha cerâmica, devido ao fato de estar presente na grande maioria das edificações residenciais

brasileiras, no qual ainda apresenta uma diversidade de modelos, porém para esta análise será adotado a telha tipo portuguesa, com as dimensões de 40,2x24,3cm.

Para representar o grupo dos métodos sustentáveis a cobertura escolhida foi a telha ecológica a base de fibras vegetais, que são retiradas dos papéis recicláveis, contribuindo assim para a reutilização de matérias que seriam descartados. As dimensões apresentadas por esse tipo de telha são de 2,00m x 0,95m. Entretanto diferente de outros tipos ela necessita da utilização de fixadores, segundo a fabricante Onduline, para que sua implantação seja eficaz devesse usar 20 fixadores tipo Speedfix por telha.

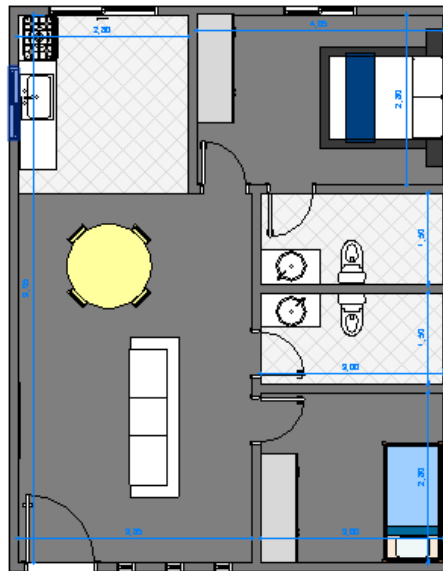
#### **2.1.4 Componentes Energia Elétrica**

O método mais utilizado na geração de energia elétrica no Brasil, é através das usinas hidrelétricas, devido a este fator, será este o componente que representará os métodos convencionais. O seu uso funciona a partir da compra desta energia que é vendida por KWh pelas concessionais. Para a sua implantação os custos variam conforme o tipo de empreendimento e sua localização, mas em geral para uma casa unifamiliar de pequeno porte basta a instalação de um poste de energia padrão no qual conte com um disjuntor e uma caixa de medição, informações está fornecidas pela concessionária de energia CPFL.

O método de geração de energia sustentável, selecionado foi o fotovoltaico devido ao fato de ser uma energia limpa, não prejudicial para o meio ambiente. Porém dentre os vários tipos de sistema de geração de energia solar, o selecionado para está análise será o sistema fotovoltaico residencial conectado à rede, no qual a energia gerada pelas placas solares será entregue para a concessionária local de geração de energia, que irá abater no valor de consumo mensal. O seu custo de implantação varia de um empreendimento para outro, no qual são levados em consideração o consumo médio de energia. Os itens necessários para o também variam conforme o consumo, mas em geral são necessários, um quadro elétrico próprio para o sistema fotovoltaico, equipamento como inversores, placas PV, fiação e conetores, além de um projeto elétrico específico para esse uso, comumente todos estes itens, já fazem parte do pacotes de instalação das empresas especializadas, informações estas fornecidas pela empresa JUND SOLAR.

#### **2.2 Modelagem em 3D para a obtenção do quantitativo**

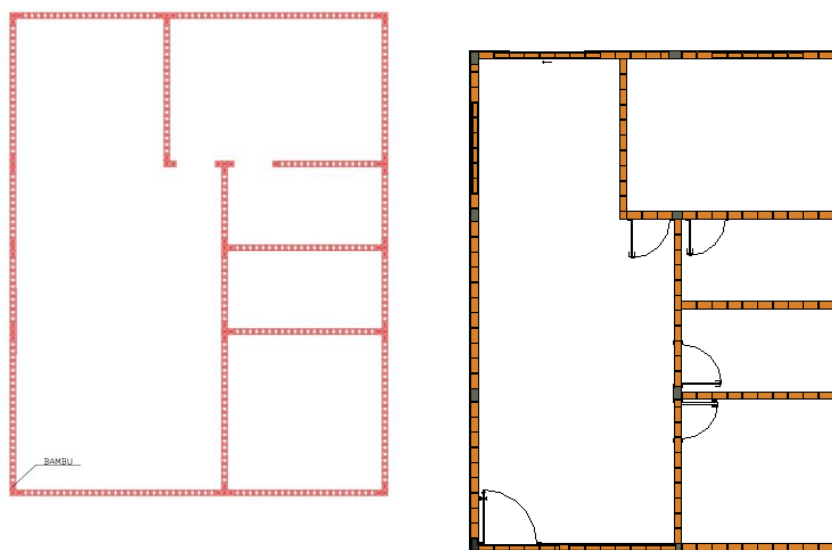
Para que se possa comparar dois parâmetros distintos, de forma igualitária é necessário implantá-los em um meio comum, devido a este fator os dois métodos serão implementados em uma edificação fictícia, no qual poderá ser observado, a quantidade de material utilizado, e fatores estéticos de um mesmo empreendimento, porém realizado com materiais diferentes. Este processo construtivo será realizado por meio de simulação através do software Revit, que disponibiliza informações como quantitativo de material utilizado e facilita a visualização do produto. Para este estudo os dois métodos construtivos serão implantados em uma pequena residência unifamiliar, que contará com uma suíte, um quarto, um banheiro, uma sala e cozinha embutidos, resultando em uma casa com 69,00 m<sup>2</sup> construídos.



**Figura 2** – Imagens do projeto arquitetônico da residência fictícia, gerados através do software Revit. (Fonte: Próprio autor).

A primeira etapa da modelagem com os materiais convencionais foi posicionar os pilares e redimensionar os vãos conforme a dimensão dos blocos cerâmicos, adotando um espaçamento de 1cm entre eles para a implantação da argamassa, resultando assim na primeira fiada.

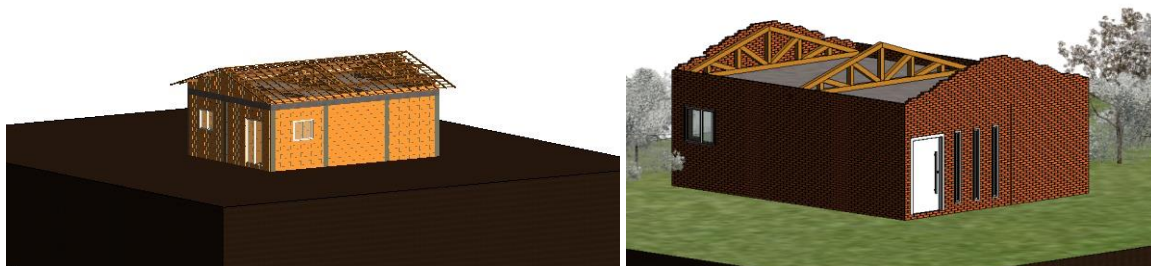
Já para os materiais sustentáveis utilizados, o processo é diferente visto que a modulação da primeira fiada de tijolos ecológicos vem antes da implantação da estrutura de bambu, no qual serão implantados nas intersecções de paredes de forma vertical realizando a função dos pilares e uma fiada antes da laje de forma horizontal, realizando o papel das vigas, além da implantação em vergas e contra vergas das janelas e no caso das portas nas vergas e laterais onde serão fixados os batentes.



**Figura 3** – Imagens do projeto da primeira fiada de tijolos ecológicos com a estrutura de bambu e dos blocos cerâmicos com os pilares de concreto armado. (Fonte: Próprio autor).

Com a primeira fiada definida o restante do processo de modelagem da alvenaria de ambas as edificações é semelhante, sendo necessário seguir a “amarração” dos blocos e tijolos desviando e implantando canaletas que servirão como verga e contra verga nos vãos de porta e janela.

Com a alvenaria finalizada a próxima etapa é a implantação da cobertura que no caso da telha cerâmica portuguesa deve possuir uma inclinação mínima de 30%, segundo fabricante cerâmica Barrobello, no qual está inclinação será atribuída ao projeto. Já para as telhas ecológicas a inclinação mínima indicada pelo fabricante Onduline é de 18% e a ideal é de 27%, porém para manter um padrão na análise comparativa o valor adotado é similar à do telhado cerâmico.



**Figura 4** – Imagens de ambos os projetos em 3D com a alvenaria finalizados. (Fonte: Próprio autor).

Com todo o projeto modelado a residência a base de matérias sustentáveis está finalizada visto que o tijolo ecológico não necessariamente necessita de reboco e possui um visual aceito no quesito arquitetônico. Porém já a edificação realizada com matérias convencionais precisa, visto que o bloco cerâmico, muitas vezes apresenta alguns recortes devido a passagem de tubulação, que deixam um visual não usual.



**Figura 5** – Imagens finalizadas das edificações a base de matérias sustentáveis e com matérias convencionais (Fonte: Próprio autor).

### 2.3 Análise Econômica

A partir da tabela gerada pelo Revit referente a quantidade de materiais, realizaremos o cálculo da análise econômica, com base na obtenção de uma série de orçamentos referentes aos materiais, com o intuito de obter três valores do mesmo componente, porém de fornecedores distintos da região de Bragança Paulista e assim descobrir o valor médio de mercado. Valores estes que serão multiplicados pelo quantitativo de material obtido no projeto das duas edificações. Alguns destes materiais devido a fatores de quebra ou desperdício apresentam uma porcentagem de perda, informações estas que serão obtidas

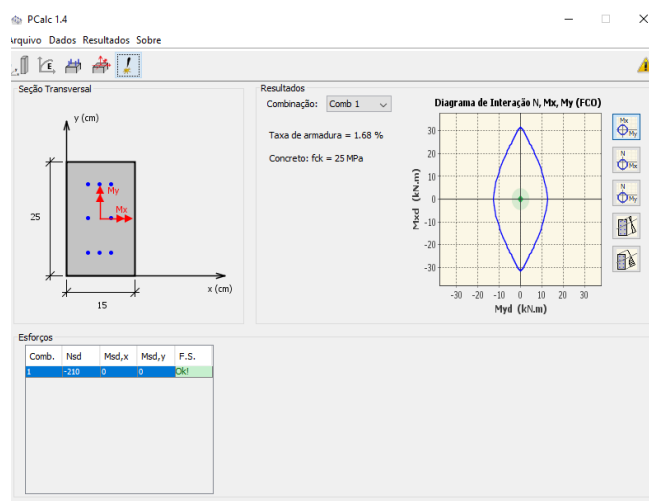
através de pesquisas científicas, no qual irão ser somados a quantia de material utilizado, para se obter os valores de quantidade adquirida.

Para a geração de energia convencional o custo a ser dimensionado foi com base no consumo médio de duas residências similares ao do estudo, já o valor a ser atribuído a elas é uma média do valor cobrado do kWh das concessionárias de energia da cidade de Socorro e Bragança Paulista. Já para a cotação da energia fotovoltaica, foi realizado orçamentos referentes a implantação com empresas especializadas da região de Bragança Paulista, no qual já apresentam no seu escopo a instalação, compra do material necessário e projeto elétrico específico para essa execução.

## 2.3 Análise de Resistência

Para este quesito de análise serão considerados somente os elementos estruturais como pilares e vigas, e não levando em consideração nenhum elemento de fundação. As resistências analisadas serão referentes a dimensão de pilares e vigas usualmente empregados em projetos de construção civil para residências unifamiliares. A análise da resistência será realizada a partir da deformação sofrida por cada um dos componentes ao receber uma mesma carga fictícia, pois devido aos materiais da cobertura serem diferentes isso possibilitaria uma divergência nos valores de carga sofridos, não permitindo assim a execução correta da análise.

No caso dos materiais convencionais as dimensões destes elementos respeitarão os valores mínimos estabelecidas pelas NBR 6118:2014 que trata de projetos estruturais de concreto e assim ela estabelece que os pilares não poderão apresentar dimensões menores que 14cm e não devem possuir uma área de seção transversal menor que 360cm<sup>2</sup>, com isto foi estabelecido que as dimensões serão de 15x25cm. Já para as vigas a norma estabelece que a menor dimensão é de 12cm podendo ser reduzida para 10cm em casos especiais, porém para este estudo a viga dimensionada será de 15x30cm, comumente utilizada em edificações populares. A quantidade de vergalhões utilizados no orçamento da armadura é de 6 barras de aço por pilar, quantidade está suficiente para suportar a carga fictícia estabelecida, cálculo este realizado pelo aplicativo PCalc, para o dimensionamento de pilares isolados, no qual respeita os parâmetros estabelecidos pela NBR 6118:2014.



**Figura 6** – Resultado do dimensionamento de um dos pilares isolados da edificação em estudo, a partir do uso aplicativo PCalc (Fonte: Próprio autor).

Para a estrutura de bambu os parâmetros de resistência variam conforme a espécie selecionada, com isto os dados serão colhidos através de outros artigos científicos no qual foram realizados a obtenção destas informações através de ensaios estabelecidos por normas

nacionais ou não visto que a criação da NBR 16828:2020 regulamentadora das estruturas de bambu apresenta apenas um ano de vigência.

Para os cálculos da deformação, serão levados em consideração o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson dos três materiais que para este estudo apresentam função estrutural (aço, bambu e concreto), no qual serão realizado o comparativo de deformação sofrido perante a uma mesma carga para cada um destes. No qual serão realizados através do auxílio do software Ftool a partir da inserção de dados, estas informações de módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, serão adquiridas através de pesquisas científicas. Outros elementos não estruturais terão sua resistência comparada por meio das exigências estabelecidas por suas normas regulamentadoras de resistência mínima exigida, e outro fatores como caracterizas únicas apresentadas por seus componentes ou modo de criação.

### 3. Resultados e Discussão

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos a partir da relação quantidade e custo dos materiais escolhidos para este artigo.

#### 3.1 Análise de Custo

Com os valores de cada material convencional obtido com relação a sua respectiva quantidade utilizada e sua perda como segue na tabela abaixo, podemos chegar ao valor final gasto e compará-los com os valores da tabela referente aos materiais sustentáveis com a utilização dos dois na residência unifamiliar.

**Tabela 1** – Custo final dos materiais convencionais utilizados na construção de uma edificação.

Material	Quantidade Utilizada	Perda de material	Quantidade adquirida	Unidade	Custo de mercado	Total a ser gasto
Bloco Cerâmico	2.139	10%	2353	Un	R\$1,56	R\$3.670,68
Canaleta Cerâmica	142	10%	157	Un	R\$2,62	R\$411,34
Meio Bloco Cerâmico	297	10%	327	Un	R\$1,94	R\$634,38
Argamassa	8.097	30%	10526,10	kg	R\$0,36	R\$3.789,37
Concreto Usinado	3,92	9%	4,27	m <sup>3</sup>	R\$337,67	R\$1.442,80
Vergalhão	1.154,4	4,53%	1206,69	m	R\$5,57	R\$6.721,29
Consumo de energia mensal	336	-	336	kWh	R\$0,73	R\$245,28
Poste Padrão	1	-	1	Un	R\$1000,00	R\$1.000,00
Disjuntor	1	-	1	Un	R\$35,04	R\$35,04
Telha Portuguesa	1.660	8%	1793	Un	R\$1,75	R\$3.137,75

Fonte: Próprio autor.

Com base nos dados apresentados acima pode-se observar que o custo da implementação destes materiais considerados convencionais, para uma residência unifamiliar com área de 69,00 m<sup>2</sup> é de R\$21.087,93, não levando em consideração o custo de mão de obra.

**Tabela 2** – Custo final dos materiais sustentáveis utilizados na construção de uma edificação.

Material	Quantidade Utilizada	Perda de material	Quantidade adquirida	Unidade	Custo de mercado	Total a ser gasto
Tijolo Ecológico	8796	-	8796	Un	R\$1,73	R\$15.217,08
Canaleta Ecológica	243	-	243	Un	R\$1,50	R\$364,50
Meio Tijolo Ecológico	586	-	586	Un	R\$1,41	R\$826,26
Cola Branca	9,62	-	9,62	L	R\$29,51	R\$283,84
Bambu	218,7	-	218,7	m	R\$4,07	R\$890,77

Parafusos	352	-	352	Un	R\$1,36	R\$478,37
Telha Ecológica	56	-	56	Un	R\$76,9	R\$4.306,40
Fixadores	1.120	-	1.120	Un	R\$1,05	R\$1.176,00
Implantação energia fotovoltaica	-	-	-	-	-	R\$16.224,00

Fonte: Próprio autor.

A partir dos dados apresentados acima pode-se observar que o custo da implementação destes materiais considerados sustentáveis, para uma residência unifamiliar com área de 69,00 m<sup>2</sup> é de R\$39.767,22, não levando em consideração o custo de mão de obra.

### 3.2 Análise Econômica

Ao realizar uma rápida análise, podemos observar uma diferença de custo entre os materiais convencionais e os sustentáveis de R\$18.679,29, porém outros fatores devem ser levados em consideração por serem métodos construtivos diferentes.

#### 3.2.1 Análise Comparativa Econômica Componentes Alvenaria

Quando comparamos os dois tipos de alvenaria podemos observar que a quantidade tijolos consumidos no uso da implantação dos métodos sustentável é aproximadamente 4 vezes mais que a de bloco cerâmicos, devido a diferença de dimensões, deixando assim o custo da compra destes matérias, mais elevado, em contra partida devido ao fato da não necessidade de quebra do tijolo ecológico a sua taxa de perda fica limitada apenas ao transporte, não sendo implementado a este estudo, já o bloco cerâmico por ser quebrado para possibilitar a passagem da infraestrutura apresenta uma taxa de perda, no qual resulta também na geração de entulho. Já em relação aos materiais de fixação, podemos observar um consumo de material muito mais elevado, da parte da argamassa devido a necessidade que os blocos cerâmicos possuem de ser rebocados, além de uma maior taxa de desperdício devido a implantação incorreta do material. Então mesmo a cola branca possuindo um valor unitário mais elevado seu rendimento é maior, permitindo o menor custo do seu uso.

#### 3.2.2 Análise Comparativa Econômica Componentes da Estrutura

Ao realizar a análise das estruturas presentes em projeto podemos observar que os gastos envolvendo o concreto e a armação se tornam superiores a implantação do bambu, devido ao elevado custo do aço, entretanto a disponibilidade do bambu tratado conforme a sua norma estale-se, ainda é algo novo para o mercado construtivo brasileiro, devido a isso, encontrar esse produto nós padrões necessários se torna algo complexo, com poucas possibilidades de escolha de fornecedor. Existiria ainda a possibilidade do plantio do bambu que devido a suas características se adapta muito bem ao ambiente, entretanto só se encaixaria em obras com longas datas de execução visto que sua norma estabelece uma idade mínima de uso além dos cuidados a serem tomados.

#### 3.2.3 Análise Comparativa Econômica Componentes da Cobertura

O comparativo de custo das coberturas se dá por uma quantia muito maior de telhas cerâmicas por metro quadro, porém com um preço unitário menor quando comparado a telha ecológica, contribuindo assim para um custo mais reduzido, além do fato que a telha tipo portuguesa não precisa ser fixada e sim encaixada, contribuindo para a diminuição de mais um custo. Diferente da telha ecológica, no qual seus fabricantes definem a quantidade mínima de fixadores a serem implantados.

### 3.2.3 Análise Comparativa Econômica Componentes da Geração de Energia

Em termos de implantação do método a diferença do custo da energia fotovoltaica é 16 vezes mais cara que a energia hidrelétrica, porém este não é o único fator que deve ser levado em consideração visto que a seus custos de implantação são únicos e ainda possuindo uma garantia de 12 anos para alguns de seus componentes, além da vida útil de 30 anos. Porém a energia hidrelétrica vendida pelas concessionárias possui um custo mensal no qual recebe reajustes com o passar do tempo, tornando-se assim um valor vitalício.

E apesar do custo elevado da energia fotovoltaica, é importante ressaltar que a mesma traz uma economia anual de R\$3420,00, em média em uma residência unifamiliar com gasto referente a R\$250,00 mensal.

### 3.2.4 Análise Comparativa de Retorno

Seguindo com os dados obtidos sobre os materiais em relação de custo e retorno, podemos observar que apesar do custo dos materiais sustentáveis sobressair com um valor maior, sendo de R\$18679,29 em relação aos convencionais, com a economia anual da energia fotovoltaica é possível em 6 anos obter esse valor que cobre o gasto do método sustentável utilizado.

## 3.3 Deformação dos Materiais Utilizados na Estrutura

Está análise comparativa tem como objetivo verificar e comparar a deformação de três materiais distintos empregados neste trabalho acadêmico através de cálculos realizados pelo Ftool, com base em suas características físicas. A fim de comparar as deformações nos planos “x” e “y”.

### 3.3.1 Característica Físicas dos Materiais Utilizados na Estrutura

A tabela a seguir apresenta dados resultantes de pesquisas científicas e estudos que demonstram as propriedades de cada um dos materiais que serão comparados.

**Tabela 3** – Relação: Modulo de elasticidade e coeficiente de Poisson (bambu, aço, concreto).

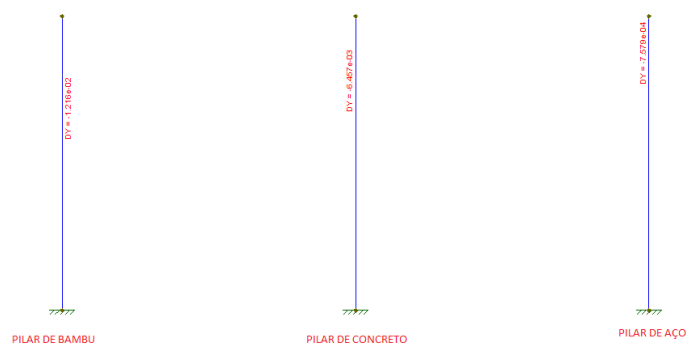
Material	Modulo de Elasticidade (MPa)	Coefficiente de Poisson
Bambu	13.089,00	0,26
Aço	210.000,00	0,30
Concreto	24.650,00	0,20

Fonte: Próprio autor.

Pode-se observar que devido a diversidade de valores em relação aos módulos de elasticidade, estes materiais apresentam uma rigidez.

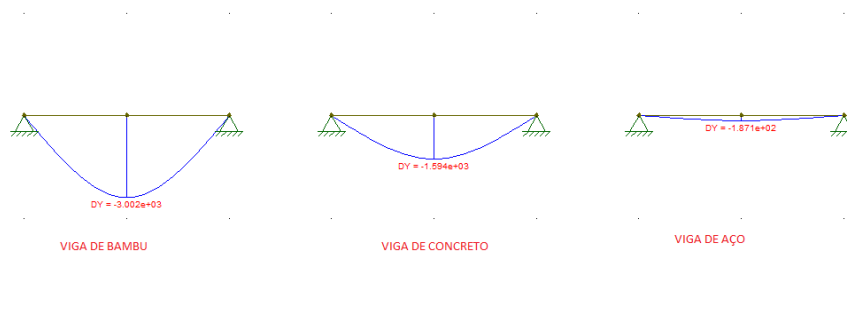
### 3.3.2 Resultados Apresentados pelo Ftool

A primeira análise é referente as tensões sofridas a partir de uma carga pontual de 150kN, sobre os elementos posicionados de forma vertical.



**Figura 7** – Resultado dos cálculos realizados pelo Ftool com os elementos na vertical (Fonte: Próprio autor).

Pode-se verificar que devido ao valor do módulo de elasticidade mais elevado o aço foi o que menos deformou, confirmando assim sua maior rigidez. A segunda análise é referente as tensões sofridas a partir de uma carga pontual de 150kN, porem com os elementos posicionados na horizontal.



**Figura 8** – Resultado dos cálculos realizados pelo Ftool com os elementos na horizontal (Fonte: Próprio autor).

Com estes dois comparativos de deformação pode-se concluir que o aço devido ao sua alta rigidez é o que menos deforma dentro dos dois planos, já o bambu e o concreto por possuírem valores de módulo de elasticidade menores, consecutivamente apresentam uma maior deformação, porém apresentando melhores resultados quando estão posicionados verticalmente. Concluindo assim que o aço dentre os três elementos apresentados devido a sua alta rigidez se sobressai tanto como a função de pilar quanto a de viga, complementando o déficit apresentado pelo concreto quando unido a tal elemento, entretanto o bambu representando os materiais sustentáveis não apresenta uma eficiência tão elevada quando utilizado com viga, tendo assim que ser complementado por outro material mais rígido que supra essa deformação.

## Conclusões

Com o decorrer da evolução, a humanidade buscou criar técnicas e ferramentas para lhe auxiliar nas diferentes tarefas, buscando sempre melhorar e se desenvolver, seja na criação da roda para facilitar a sua locomoção ou no desenvolvimento de grandes indústrias, a fim de melhorar a produção. Porém em um determinado momento neste caminho a humanidade percebeu que não bastava apenas evoluir, a qualquer custo e sim se desenvolver conscientemente, pensando nas próximas gerações no qual iram habitar o planeta. Com esta ideia surge o conceito de sustentabilidade, invadindo diversos setores como a área da

construção civil, permitindo o desenvolvimento de diversos materiais que antes não possuíam esta função.

Surgindo assim um novo método de construção as edificações sustentáveis, obras estas que possuem a premissa de além de proporcionar um conforto aos seus moradores, diminuir ou até mesmo acabar com os danos causados ao meio ambiente no ramo da construção civil. Porém mesmo com essa área se desenvolvendo tanto, muitos empreendedores hesitam em trabalhar com este tipo de obra, muitas vezes por desconhecimento de tais métodos e suas características. Devido a isto este trabalho vem apresentar possibilidades de uso no ramo da construção sustentável, comparando-os, com matérias convencionais do mercado construtivo.

Para isso foi implantado estes dois materiais dentro de uma edificação residencial unifamiliar no qual pode-se observar o quantitativo de material utilizado em obra de ambos os métodos, além disso descobrir o custo unitário em obra que para esta situação foi concluído que o custo do método sustentável sobressai ao convencional, porém o seu retorno graças a implantação da energia fotovoltaica é possível abater o gasto gerado pelo método sustentável. Outro fator a ser analisado foi a deformação apresentada pelos materiais utilizados para fins estruturais, e a maior deformação sofrida foi perante os materiais sustentáveis que para este estudo foi o Bambu.

## **Agradecimentos**

Agrademos primeiramente a Deus, as nossas orientadoras e professoras Cândida e Renata que nos auxiliaram em todo o processo, aos nossos pais e amigos que nos apoiaram a todo momento!

## **Referências Bibliográficas**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR. 7170. Tijolo maciço cerâmico para alvenaria.** Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR. 16828-1. Estruturas de bambu.** Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR. 6118:2014. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 48. 2004, Curitiba. Influências de qualidade do produto na construção: Estudo dos tijolos maciços. Curitiba: Congresso Brasileiro de cerâmica, 2010. Disponível em: ipen.br.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR. 15758-1. Sistemas construtivos em chapas de gesso para drywall: Projeto e procedimentos executivos para montagem Parte 1.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR. 8491. Tijolo de solo-cimento – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR. 15575-5. Edificações Habitacionais – Desempenho parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas.** Rio de Janeiro, 2013.

AMBIENTE CONSTRUTIVO. Porto Alegre: Ed. Ambiente Construtivo, 2003. Semestral, v.3. ISSN 1415-8876.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR. 15210-1. **Telha ondulada de fibrocimento sem amianto e seus acessórios Parte 1: Classificação e requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575. **Desempenho de edificações habitacionais.** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9574. **Execução de impermeabilização.** Rio de Janeiro, 2009.

BASTOS, T.S.S. **Fundamentos do concreto armado:** Relatório, 2019. Notas de aula. Bauru, 2019. Disponível em: [www.feb.unesp.br](http://www.feb.unesp.br).

BATTAGIN, A.F. **Uma breve história do cimento Portland.** São Paulo: Associação Brasileira do cimento Portland – ABCP, 2009. Disponível em: <https://abcp.org.br>. Acesso em: 16 jun. 2021.

BORTOLETO, E.M. **A implantação de grandes hidrelétricas: Desenvolvimento, discurso e impactos.** 2001. 10f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Presidente Prudente, 2001. Disponível em: [periodicos.ufes.br](http://periodicos.ufes.br).

BOETTGER, G.C.; MARTINS, P.M. **Estudo comparativo entre telhas onduladas de fibrocimento e telhas onduladas ecológicas.** 2018. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Elétrica, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2018.

CORREA, I.C. **Estudo comparativo entre sistemas monolíticos em painéis EPS e sistema construtivo convencional para residências unifamiliares.** 2020. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina – USSC, Tubarão, 2020.

CORREA, L.R. **Sustentabilidade na construção civil.** In: CORREA, Lásaro Roberto. **Sustentabilidade na construção civil.** 2009. 70f. (Engenharia Civil) – Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia – UFMG, Belo Horizonte, 2009. p. 14-25.

Encontro Nacional de Engenharia de Produção, XXVIII, 2008, Rio de Janeiro. **Avaliação de emissões de CO2 na construção civil: Um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná.** Rio de Janeiro: Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, 2018. Disponível em: [portal.abpro.org.br](http://portal.abpro.org.br).

JUND SOLAR. **Instalação de placas solares fotovoltaicas.** JUND SOLAR. Disponível em: [jundsolar.com.br](http://jundsolar.com.br). Acesso em: 14 nov. 2021.

CPFL. **CPFL energia.** Disponível em [www.cpfl.com.br](http://www.cpfl.com.br). Acesso em: 14 nov. 2021.

ELETOBRÁS. **Portal hidrelétrico brasileiro poliestágio.** 2015. Disponível em: [www.eletobras.com](http://www.eletobras.com). Acesso em: 17 de jun. 2021.

HASS, D.C.G.; MARTINS, L.F. **Viabilidade econômica do uso do sistema construtivo steel frame como método construtivo para habitações sociais**. 2011. 66f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnologia Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, 2011.

International Workshop advances in cleaner production, 3, 2011, São Paulo.

**Sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Cleaner production initiatives and challenges for a sustainable world, 2011. Disponível em: [advancesincleanerproduction.net](http://advancesincleanerproduction.net).

JUNIOR, H.S. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. 2000. 152f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação STRICTO SENSU em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

LANA, C.A.C. **Desenvolvimento de treliças planas de bambu**. 2016. 149f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

LEITE, V.F. **Certificação ambiental na construção civil – Sistema LEED e AQUA**. 2011. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas. Disponível em: [mac.arc.br](http://mac.arc.br).

LOPES, C.; Karina Califice; Paula Maestri. **Casa ecológica: Uma moradia sustentável**, v.3, set. 2012. Disponível em: [redeicm.org.br](http://redeicm.org.br).

MAIORANO, C.C.; LIMA, P.V.M.C. **Estudo comparativo entre alvenaria de bloco cerâmico de vedação e a tecnologia Drywall para ambientes internos**. 2017. 38f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Centro Universitário Cesmac, Maceió, 2017.

MACEDO, R.M.P.R. **Aplicação da metodologia de planejamento de experimentos para formulação de massas cerâmicas para telha**. 2007. 117f. Tese (Doutorado em Ciência Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-graduação STRICTO SENSU em Ciência Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

MARÇAL, V.H.S. **Uso de bambu na construção civil**. 2008. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Faculdade de tecnologia – Departamento de Engenharias, Brasília, 2008.

OLIVEIRA, André Albuquerque Bittencourt de. **Inventário das emissões atmosféricas na indústria siderúrgica**. Rio de Janeiro, 2014. 85 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Metalúrgica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

PEDRAL, V.U.S. **Estudo do tijolo ecológico: Aspectos gerais e utilização na construção civil**. 2020. 57 p. - Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Educação Ciência e tecnologia de Sergipe, Aracaju, 2020.

QUEIROZ, R.C, **Engenharia Civil: Resumo Histórico**. In: QUEIROZ.R.C. **Introdução à engenharia civil: História, principais áreas e atribuições da profissão Engenharia Civil: Resumo Histórico**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2019. v.1. p.21-42. Disponível em:

www.academia.edu.

REVISTA VIRTUAL DE QUÍMICA. Niterói: Ed. Revista virtual de química, 2015. Semestral, 2015. v.7. p.126-143. ISSN 1984-6835.

RIBEIRO, N.P. **Contributo para uma “história da construção” no Brasil. Simpósio Nacional de História.** São Paulo: Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 2011. Disponível em: [anpuh.org.br](http://anpuh.org.br).

RODRIGUES, MS; Pereira, Monique Brum et al. **Certificação LEED: A reforma sustentável do estádio Mineirão e suas vantagens.** Revista Teccen. 2019. Jul/Dez; 12 (2): 30-38.

SOUZA, A.D.; MACHADO, D.N.M.; PENHA, E. **Histórico das hidrelétricas no Brasil e no Mundo.** Artigo científico, Centro Universitário de Várzea Grande, Várzea Grande, 2015. Disponível em: [pt.slideshare.net](http://pt.slideshare.net).

TREVEJO, H.H. **Análise comparativa entre sistemas construtivos convencional e monolítico em painéis EPS para residências unifamiliares.** 2018. 45f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR, Maringá, 2018.

VASCONCELOS, A.C. **Concreto no Brasil.** Vol. 3. São Paulo: Studio Nobel, 2002.

VASQUES, C.C.P.C.F. **Comparativo de sistemas construtivos, convencional e wood frame em residências unifamiliares.** 2014. 17f. Artigo Científico. Curso de Engenharia de Estruturas, Centro Universitário de Lins – Unilins, Lins – SP, 2014.