

AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE COBERTA PARA INSTALAÇÃO DE PLACAS SOLARES.

Vanessa Faria de Albuquerque

vfa2@discente.ifpe.edu.br

José Wanderley Pinto

josepinto@recife.ifpe.edu.br

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi realizar uma avaliação estrutural da cobertura em madeira para instalação de placas solares, utilizando o software de cálculo estrutural Cype 3D v.2023f, realizando inspeção predial com a finalidade de análise: do sistema construtivo, do comportamento estrutural relativo à utilização de painéis solares, de anomalias construtivas, manifestações patológicas e falhas de manutenção. Dessa forma, verificou-se que a cobertura não apresentava manifestações patológicas que ocasionassem perda de desempenho da edificação ou de suas partes. Além disso, as peças da cobertura foram representadas graficamente em plantas baixas e cortes, com o auxílio do software AutoCAD e a carga das placas solares e vento foram calculadas. Na análise das solicitações através do cálculo espacial em 3D, com auxílio do software, verificou-se que a estrutura está com as deformações e resistência fora dos padrões solicitados por norma e, portanto não suportaria a instalação de placas solares.

Palavras-chave: Cype 3D; Energia Solar; Madeira.

ABSTRACT

The objective of this article was to conduct a structural assessment on roof wooden framing for installation of solar panels, using the structural calculator software Cype 3D v.2023f, carrying out building inspection in order to assess: its construction system, structural behaviour with respect to utilization of solar panels, construction defects, pathological manifestations and maintenance failures. As a result, it was found that the roof structure did not present pathological manifestations that could lead to a decrease in their overall performance or in the performance of their elements. In addition to this, the roof structure elements were graphically represented on roof plan and section plan drawings, using AutoCAD software with the solar panels and wind loads being calculated. Upon analysis of load demand through 3D spatial calculation, performed with software assistance, it was found that the structure is subject to deformation and resistance outside standard requirements, therefore it would not withstand the installation of solar panels.

Keywords: Cype 3D; Solar Energy; Wood.

1 INTRODUÇÃO

Diante do crescimento da utilização de luz solar como fonte de energia elétrica, através de painéis fotovoltaicos e também, devido a problemas gerados pela inserção de novas cargas em estruturas não projetadas para tal, inúmeros desabamentos de cobertas têm ocorrido.

Na linha de buscar o ecologicamente correto, temos a questão energética onde também existe “a necessidade de explorar recursos renováveis que trazem flexibilidade e sustentabilidade quando da sua utilização, sendo um dos fatores que tem estimulado a diversificação da matriz energética brasileira” (Da Silva et al., 2021).

Atualmente, o Brasil tem sua matriz elétrica altamente dependente da fonte hídrica que, devido aos períodos de estiagem cada vez mais frequentes, apresenta quedas contínuas na energia gerada pelas hidrelétricas. (Da Silva et al., 2021).

Em paralelo, o elevado potencial solar energético de nosso país está se tornando cada vez mais conhecido e com isso, a energia solar vem ganhando mais espaço na nossa matriz elétrica, por possuir mais vantagens que outras fontes tradicionais de energia elétrica (Da Silva et al., 2021).

Segundo Costa et al. (2020), é uma energia que se produz de forma limpa, trazendo como potenciais benefícios: o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a redução das perdas, a diversificação da matriz energética, sendo economicamente viável (mesmo que o período de retorno ainda se apresente alto) e versátil, pois pode ser instalado em coberturas, clarabóias, fachadas e até mesmo nos vidros.

Diante de tantas vantagens, a adesão a esse tipo de energia aumenta e de acordo com os dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) “a previsão para o ano de 2023 é que a expansão na matriz de geração seja de 10,3 gigawatts (GW) de capacidade instalada, o que representará o maior nível de expansão de nossa capacidade desde o início do acompanhamento pela Agência, fundada em dezembro de 1997” (ANEEL, 2023).

Esse aumento da procura por energia solar faz com que haja uma elevação na quantidade de empresas prestadoras do serviço de instalação de painéis solares e conseqüentemente acabam ocorrendo mais acidentes envolvendo quedas de cobertas devido à sobrecarga, conforme se pode observar em inúmeras reportagens sobre o tema (Canal Solar, 2021).

De acordo com o site Canal Solar (2021), a instalação deve ser feita por empresas idôneas, que trabalhem com qualidade, responsabilidade e que utilizem profissionais de engenharia habilitados para avaliar toda a estrutura, antes da instalação do sistema fotovoltaico. O custo da análise estrutural das construções deve fazer parte do orçamento do projeto.

A modificação das condições iniciais (adaptações, alteração de áreas) e/ou mudanças na utilização em estruturas de madeira geram esforços inadequados que tem sido uma frequente causa de problemas construtivos e danos (Da Silva et al., 2019).

De acordo com Da Silva, et al. (2019), “uma das frequentes causas de danos em estruturas de madeira é a introdução de esforços inadequados devidos a algumas alterações intencionais como, por exemplo, adaptações e mudanças de áreas, ou podem ser alterações acidentais como cedência de apoios”.

“A madeira é um dos materiais mais antigos utilizados pelo homem na construção civil, demonstrando vantagens consideráveis, como ser sustentável e possuir excelentes propriedades mecânicas, fazendo com que seja utilizada de forma inovadora, funcional e confiável em sistemas estruturais” (Fraga, 2022).

De acordo com Fraga (2022, p.1029), no Brasil, apesar de sua expressiva diversidade florestal, muito pouco desse potencial é utilizado e mesmo existindo “pouca difusão no país, quando comparada ao concreto e ao aço, verifica-se uma considerável recorrência em estruturas de coberturas residenciais, industriais e rurais, na forma de sistemas treliçados planos”.

“A tenacidade e a elevada relação resistência/densidade reforçam que a madeira pode ser potencialmente utilizada em estruturas de cobertura, não se restringindo apenas a telhados de edificações residenciais” (Fraga 2022, p.1029).

Uma explicação para o pouco uso, de acordo com Brito (2014), citado por Parra e Galvão (2022, p.2), seria que “a madeira é um conjunto de polímeros naturais e, desde que a árvore se forma, está sujeita ao desgaste por vários agentes, que podem corromper sua composição, ficando vulnerável ao ataque de vários tipos de fungos e insetos, tornando-se uma perda considerável de material nas construções”.

Além disso, “apesar de o Brasil ser um país que demonstra ser capaz de uma grande produção de matéria prima, ainda assim, a capacidade de processar e produzir madeira de forma engenheirada é irrelevante” (Parra e Galvão, 2022)

Mesmo não utilizando todo o seu potencial, de acordo com Sá e Neto (2022, p.25) “a madeira é uma aliada do homem na construção civil, seja na execução de casas, pontes, portos ou nas mais diversas utilizações”. Em nosso país, o documento normativo que rege as diretrizes de projeto e dimensionamento de estruturas de madeira é a NBR 7190-1:2022.

Tal Norma abrange os princípios e requisitos do método dos estados-limite incluindo a durabilidade e apresenta critérios de cálculo para o dimensionamento e a verificação dos elementos estruturais de madeira para a segurança estrutural.

De acordo com Gomes et al. (2021), a madeira é um material de grande potencial de uso na construção civil e pode ser procedente de florestas naturais ou plantadas. Entre os materiais comumente utilizados, a madeira é o único renovável, expressa elevada relação entre a resistência e o peso, e sua produção gera poucos impactos ambientais.

Dessa forma, justifica-se a pesquisa pela grande demanda de instalação de placas solares em estruturas preexistentes que não foram projetadas para recebê-las de forma segura e tecnicamente calculadas, gerando riscos de acidentes. Portanto, o trabalho teve o objetivo de realizar uma avaliação estrutural da cobertura em madeira para instalação de placas solares, utilizando o software de cálculo estrutural Cype 3D v.2023f.

2 METODOLOGIA

A etapa inicial da pesquisa foi a realização de uma revisão bibliográfica, com busca por embasamento teórico em pesquisas de monografias, artigos acadêmicos, livros, NBR's, depoimentos de especialistas e notícias com o intuito de enriquecer o trabalho com a importância que o tema deve ter, apresentando informações coerentes, verídicas e de relevância.

Através dessa etapa foi possível formar uma base conceitual sobre o tema e identificar a legislação pertinente, sua aplicação e os problemas existentes sendo, as informações coletadas, úteis para etapa posterior onde a visita técnica foi realizada.

A coberta em madeira está localizada em uma edificação residencial, localizada no bairro de Aldeia, Paudalho/PE e possui área de 90 m², conforme figura 1.

Figura 1 – Coberta com sistema estrutural em madeira



Fonte: A autora (2023).

A inspeção predial foi realizada nos moldes das NBR's 8681 que trata de Ações e segurança na estrutura - Procedimentos; NBR15575-5- Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas e NBR 16747. Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento.

Vistoriou-se a coberta de madeira, com a finalidade de análise do sistema construtivo e comportamento estrutural relativo à utilização de painéis solares. Para isso, foi realizada uma visita "in loco", na qual, foram realizados registros fotográficos e medições para poder avaliar minuciosamente toda a estrutura, identificando a presença de eventuais anomalias, não tendo sido produzidos testes ou ensaios, sendo realizada somente a análise visual.

Após o levantamento das características construtivas e agentes de degradação com o objetivo de avaliar as condições do sistema estrutural da coberta existente e verificar a possibilidade de instalação de painéis solares, foi possível realizar uma avaliação geral, que permitiu definir o estado de conservação da estrutura.

Também se observou a existência de anomalias construtivas, manifestações patológicas e falhas de manutenção que poderiam interferir e prejudicar o estado de utilização da coberta. Verificando assim, os aspectos de desempenho, vida útil, utilização e segurança que tenham ligação direta com usuários.

Logo após, foram desenvolvidos os levantamentos arquitetônicos para melhor identificação dos elementos estruturais, sendo uma etapa importante, pois foi onde as medições das peças da coberta de madeira foram realizadas, sem verificação de estruturas e sistemas não aparentes. Tudo foi anotado manualmente em papéis com riqueza de detalhes, para posterior utilização em software.

Os dados coletados foram, posteriormente, representados graficamente em plantas baixas e cortes, com o auxílio do software AutoCAD.

Em seguida foram calculadas as cargas das placas solares utilizando sua respectiva especificação técnica que foi fornecida pela empresa que as instalará no local. Além disso, a carga do vento foi calculada com o auxílio da NBR 6123:1988 que trata das forças devidas ao vento em edificações.

Outras Normas Brasileiras utilizadas foram: NBR 6120:2019, ações para o cálculo de estruturas de edificações, para verificação das cargas das telhas cerâmicas e a NBR 7190-1:2022. Projeto de estruturas de madeira. Parte 1: Critérios de dimensionamento.

Por fim, realizou-se a análise estrutural através do software Cype 3D v.2023f para avaliar as cargas atuantes, seu desempenho e verificar se a cobertura suportaria a nova carga implementada pelas placas solares.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Inspeção Predial

A NBR 7190-1(ABNT, 2022) prevê que o “projeto de uma estrutura em madeira deve conter um memorial justificativo onde as ações e condições de carregamento admitidas (incluídos os percursos das cargas móveis) devem ser explícitas”.

Porém, os responsáveis pelo local, tinham somente os projetos arquitetônicos, não possuindo os projetos de estrutura e o memorial de cálculo da cobertura, o que exigiu a necessidade de um profissional habilitado para realizar a análise global da estrutura e verificar se ela iria suportar a inserção das novas cargas aplicadas pelas placas solares.

Para isso, no dia 25 de maio de 2023, foi realizada, na cobertura de madeira do local (figura 2), uma inspeção de nível 1 que, de acordo com o IBAPE (2012, p.7), “é aquela realizada em edificações com baixa complexidade técnica, de manutenção e de operação de seus elementos e sistemas construtivos, sendo elaborada por profissionais habilitados em uma especialidade”.

Figura 2 – Trama sem deslocamentos, flechas fissuras e rachaduras.



Fonte: A autora (2023).

Verificou-se que sua trama é de madeira serrada e encontra-se apoiada em pilares quadrangulares, de 37 cm de dimensões e com espaçamentos diversos, conforme figura 2.

A Inspeção Predial é um importante procedimento técnico, eficaz e imprescindível para minimizar a ocorrência de acidentes nas edificações. Seus processos essenciais estão pautados na análise das condições técnicas, de uso, operação, manutenção e funcionalidade da edificação e de seus sistemas e subsistemas construtivos, de forma sistêmica e, predominantemente, sensorial (IBAPE/SP, 2021, p.2).

A NBR16747 (ABNT, 2020), preceitua que seja “realizada de forma sistêmica, considerando a complexidade da instalação existente, buscando anomalias e falhas de manutenção, uso e operação”.

“As vistorias possuem o objetivo principal de constatar anomalias e falhas de manutenção, uso e operação (e de suas eventuais repercussões em termos de sinais e sintomas de deterioração)” (IBAPE/SP, 2021, p.20).

3.1.1 Anomalias

Com base nas características dos sintomas observados e informações obtidas, não se identificou manifestações patológicas causadas por ações naturais ou humanas, não sendo identificadas fissuras, rachaduras e mudanças de coloração nas peças em madeira, o que segundo Da Silva et al. (2019, p.5), é causada pelos “agentes atmosféricos que provocam alterações de cor e textura, alterando a parte estética da madeira podendo ficar mais clara ou escura devido ao intemperismo” (figura 3).

Figura 3 – Trama sem deslocamentos, flechas fissuras e rachaduras.



Fonte: A autora (2023).

Observa-se que a cobertura e encontra-se em bom estado de conservação, não sendo observadas deformações, deslocamentos e flechas, que de acordo com Da Silva et al. (2019, p.4), “podem indicar excessivo carregamento, que necessitam de correção com manutenções adequadas”. Também não havia sinais de elementos estruturais removidos e movimentação de ligações.

As anomalias em estruturas de madeira são, de acordo com a NBR 16747, “irregularidades e exceções à regra que ocasionam a perda de desempenho da edificação ou suas partes, oriundas da fase de projeto, execução ou final de vida útil, além de fatores externos” (ABNT, 2020).

“Anomalias possuem dois tipos de classificações, uma ocasionada pelas ações humanas, originada a partir do estágio da concepção do projeto até a sua utilização, e outra de ações naturais, determinados como agentes atmosféricos, luz solar e água; agentes químicos, ambientes úmidos e agentes biológicos, insetos, fungos e xilófagos marinhos” (Parra e Galvão, 2022, p. 2).

Já “as ligações mecânicas tradicionais em peças de madeira se dividem em função do modo de transmissão da força entre os elementos” conectados da estrutura, assegurando sua ligação. Dessa forma, foram observadas ligações por pinos metálicos que se encontravam bem distribuídas, unidas, simétricas em relação ao plano médio da estrutura e com os pregos centrados, conforme figura 4 (ABNT 7190-1, 2022, p.47).

Figura 4 – Ligações mecânicas

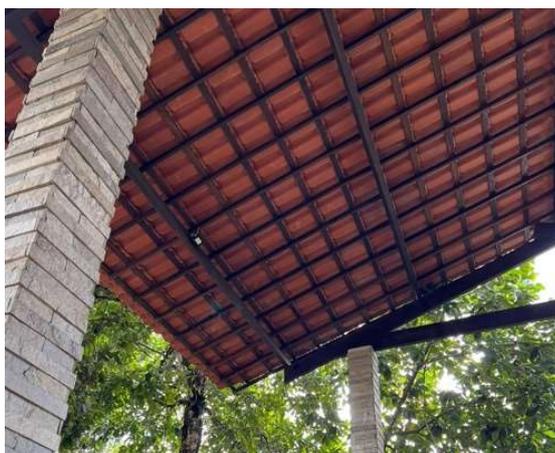


Fonte: A autora (2023).

Os sistemas de coberturas (SC) impedem a infiltração de umidade oriunda das intempéries para os ambientes habitáveis e evitam a proliferação de micro-organismos patogênicos e de diversificados processos de degradação dos materiais de construção, incluindo apodrecimento, corrosão, fissuras de origem higrotérmica e outros (NBR15575-5, 2013, p.7).

De acordo com a NBR15575-5 (2013, p.7), “os SC devem ser planejados e executados de forma a proteger os demais sistemas”, dessa forma, pode-se dizer que as telhas presentes na estrutura estão cumprindo o seu papel de acordo com a norma de desempenho, pois não se encontram rachadas e tampouco com risco de queda, o que comprometeria a segurança dos transeuntes, vide figura 5.

Figura 5 – Sistema de cobertura



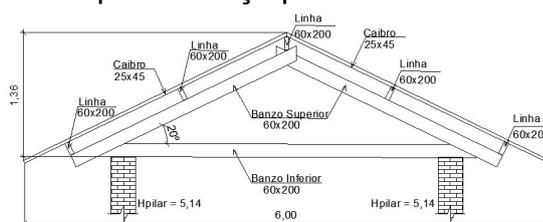
Fonte: A autora (2023).

Durante a visita não foi observada a presença de cupins, que causam grandes degradações quando proliferados na estrutura, por a utilizarem como abrigo ou fonte de alimentação. Como o local é propenso a proliferação, caso sejam encontrados, recomenda-se a remoção imediata do agente e aplicação de produto para eliminá-los.

3.2 Levantamento Arquitetônico

As peças em madeira foram nomeadas de acordo com Moliterno (2010, p.3), e nelas se encontram presentes suas respectivas dimensões e distanciamentos (figura 6). Além disso, a coberta tem 15m de comprimento por 6,00m de largura e seus pilares medem 5,14m de altura. Sua altura total é 6,50m, possuindo duas águas simétricas e planta retangular.

Figura 6 – Vista do tipo de treliça presente na Coberta no Autocad.



Fonte: A autora (2023).

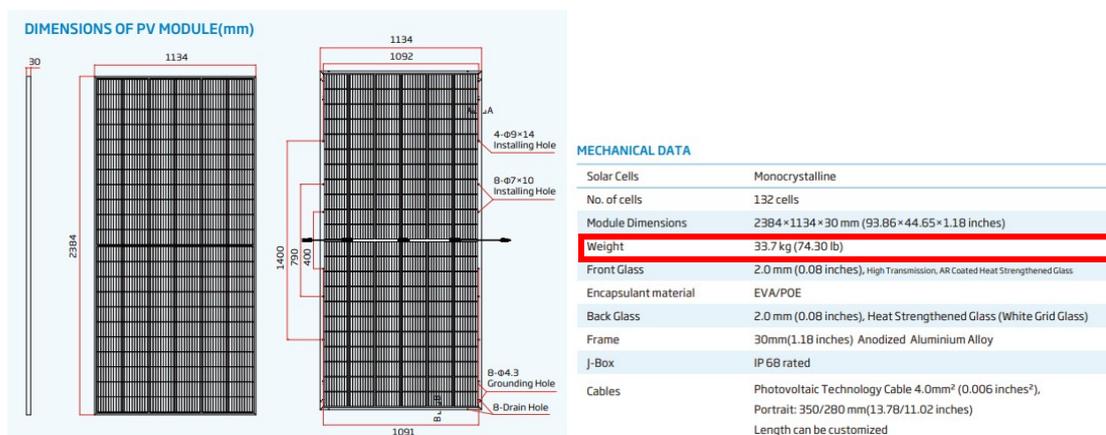
3.3 Carga das Placas Solares

Segundo Costa (2020), o sistema de energia solar realiza a produção de energia elétrica através da radiação solar e consegue fazer com que o próprio consumidor consiga gerar sua própria energia, e isso ocorre através da sua capacidade de captação de energia solar, que é obtida através da conversão da radiação solar em energia elétrica, por intervenção de placas feitas com materiais semicondutores, como por exemplo, o silício.

De acordo com empresa instaladora, as placas são instaladas com parafusos e trilhos metálicos, que possuem em torno de 2,5kgf/m². Portanto, a carga total das placas que serão utilizadas é de 15kgf/m².

Nas especificações técnicas (figura 7), temos que a placa possui 2,384m x 1,134m de dimensões e pesa 33,7kg. Assim, temos uma carga de 12,46 kgf/m².

Figura 7 – Especificações técnicas das placas.



Fonte: Vertex

3.4 Análise Estrutural

A NBR 7190-1 (ABNT, 2022), que trata de projeto de estruturas de madeira, classifica as espécies de madeira em dois diferentes grupos de acordo com suas estruturas celulares: em coníferas e dicotiledôneas, cada uma delas divididas em classes de resistência.

“Os desenhos estruturais devem conter, de modo destacado, as classes de resistência das madeiras a serem utilizadas” (NBR 7190-1, 2022). De acordo com Castro (2018, p. 12,5), “a resistência da madeira à deterioração é a capacidade inerente à espécie de resistir à ação de agentes deterioradores, incluindo os agentes biológicos, físicos e químicos”.

Porém, como o cliente não possuía o projeto da cobertura em madeira e não havia informações sobre o tipo de madeira do local, optou-se por utilizar valores arbitrados, de forma a serem mais desfavoráveis para a estrutura. Dessa maneira, em prol da segurança, utilizou-se nas verificações estruturais do software, a indicação de madeira de segunda categoria e classe D30, que é a segunda menor, das 5 (cinco) classes disponíveis no software e na NBR 7190-1:2022, sendo inserida na tabela 1 abaixo.

Além disso, a NBR 7190-1:2022 traz as possíveis classes de umidade da madeira a serem utilizadas (figura 8), com a finalidade de ajustar as propriedades de resistência e de rigidez da madeira em função das condições ambientais onde as estruturas permanecerão durante sua vida útil.

Figura 8 – Classes de Umidade

Tabela 1 – Classes de umidade

Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente U_{amb}	Umidade de equilíbrio máxima da madeira U_{eq}
1	$U_{amb} \leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

Fonte: NBR 7190-1, 2022.

A cobertura está localizada próxima ao município de Recife, portanto de acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia – IMET, a umidade relativa do ar compensada anual é de 77,6%, com isso, de acordo com a tabela de classes de umidade (figura 8), a cobertura se encaixa na classe 3 de umidade.

Diante do exposto, os dados coletados durante visita técnica foram elencados na tabela abaixo, gerada pelo software.

Tabela 1 – Parâmetros da madeira

Parâmetros da madeira	
Tipo	Madeira serrada
Procedência	Dicotiledôneas
Classe resistente	D30
Categoria	Segunda
Classe de umidade	3

Fonte: A autora (2023).

Com as medidas coletadas, parâmetros definidos e com a informação quanto à carga das placas solares, foi possível modelar o comportamento estrutural e verificar as deformações em cada peça de acordo com o seguinte tipo de solicitação: peso próprio, peso das telhas do tipo cerâmicas existentes e das placas solares a serem inseridas, além da sobrecarga e do vento.

A modelagem da cobertura se deu, com o apoio do software, inserindo as medidas das peças em madeira de acordo com a realidade encontrada e considerando os seguintes valores de cargas:

- Peso próprio das peças em madeira: o software calcula automaticamente as cargas das peças estruturais inseridas.
- Carga permanente das telhas cerâmicas do tipo colonial: 0,60 kN/m², onde tal valor se refere ao “peso por metro quadrado de telhas, na superfície inclinada, incluindo a superposição, elementos de fixação e absorção de água” (NBR 6120/2019).

“De acordo com a NBR 8681 (ABNT, 2003), as ações permanentes são aquelas que ocorrem com valores constantes durante praticamente toda a vida da construção, como, por exemplo, o peso próprio da estrutura principal e o peso de elementos fixos” (Fraga, 2022).

- Carga permanente das placas solares: 0,15 kN/m²;
- Sobrecarga: 0,25 kN/m², pois “nas coberturas comuns (telhados), na ausência de especificação mais rigorosa, deve ser prevista uma sobrecarga característica mínima de 0,25kN/m²” (NBR 8800/2008, p.112).
- Vento: calculado abaixo nos moldes da NBR 6123:1988 que trata das forças devidas ao vento em edificações.

Iniciou-se calculando a máxima velocidade característica do vento (V_k) que é encontrada multiplicando-se a velocidade básica do vento (V_0) pelos fatores S_1 , S_2 e S_3 , que são respectivamente o fator topográfico; rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno e fator estatístico.

A V_0 é adequada ao local onde a cobertura está situada e é a velocidade de uma rajada de 3s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10m acima do terreno, em campo aberto e plano. Pelo quadro de isopletras, em Pernambuco, temos $V_0 = 30\text{m/s}$.

O fator topográfico leva em consideração as variações do relevo do terreno e para terrenos planos e fracamente acidentados como o do local, tem-se $S_1 = 1,0$.

O fator S_2 considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação. Sendo assim a rugosidade foi enquadrada na classe A e na categoria III, que é caracterizada por terrenos planos ou ondulados com obstáculos, com poucos quebra-ventos de árvores edificações baixas e esparsas. Portanto, ao consultar a classe e a categoria na tabela 2 da NBR6123:1988, temos que $S_2 = 0,88$.

Já o fator estatístico S_3 , considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação, onde seus valores mínimos encontram-se na tabela 3 da norma, assim $S_3 = 1,0$.

Dessa forma, temos:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

$$V_k = 30 \cdot 1 \cdot 0,88 \cdot 1$$

$$V_k = 26,4 \text{ m/s}$$

Para o cálculo da pressão dinâmica do vento (q), temos:

$$q = 0,613 \cdot (V_k)^2$$

$$q = 0,613 \cdot (26,4)^2$$

$$q = 427,23 \text{ N/m}^2 = 0,427\text{kN/m}^2$$

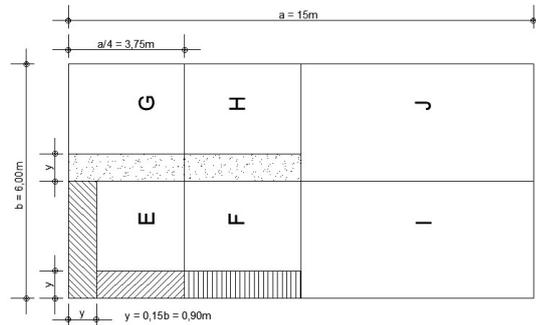
$$q = 0,0427\text{tf/m}^2 = 0,043\text{tf/m}^2$$

Como a força do vento depende da diferença de pressão nas faces opostas da edificação, os coeficientes de pressão são dados para superfícies externas (cp_e) e internas (cp_i) e a pressão efetiva (Δp) é o valor da diferença entre elas, multiplicada pela pressão dinâmica, ou seja:

$$\Delta p = (cp_e - cp_i) \cdot q.$$

Para fins de cálculo do vento, vamos dividir a cobertura de acordo com a norma de vento supracitada (figura 9).

Figura 9 – Coberta dividida



Fonte: A autora (2023).

Para o cálculo de cp_e utiliza-se a tabela 5 (figura 10) da NBR6123:1988, inserindo os valores das dimensões da cobertura, onde $b = 6,00$ m e a altura do chão à treliça $h = 5,14$ m.

Figura 10 – Tabela 5 de coeficientes de pressão e de forma externos.

Altura relativa	θ	Valores de C_{pe} para				C_{pe} médio				
		α = 90° (A)		α = 0°		EF	GH	EG	FH	
		EF	GH	EG	FH					
$\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	0°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	--	
	5°	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0	
	10°	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2	
	15°	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,2		-1,2	
	20°	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1,0			-1,2	
	30°	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8			-1,1	
	45°	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6				-1,1	
	60°	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6				-1,1	
	$\frac{h}{b} > \frac{1}{2}$	0°	-0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-2,0	-2,0	-2,0	--
		5°	-0,9	-0,6	-0,9	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
10°		-1,1	-0,6	-0,8	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2	
15°		-1,0	-0,6	-0,8	-0,6	-1,8	-1,5	-1,5	-1,2	
20°		-0,7	-0,5	-0,8	-0,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,0	
30°		-0,2	-0,5	-0,8	-0,6	-1,0			-1,0	
45°		+0,2	-0,5	-0,8	-0,8					
60°		+0,6	-0,5	-0,8	-0,8					

Fonte: NBR 6123, 1988.

Portanto,

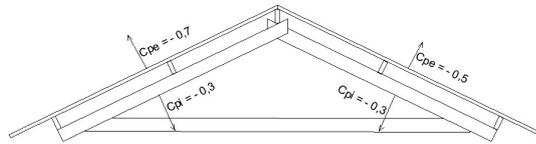
- cp_e em EF = -0,7;
- cp_e em GH = -0,5;
- cp_e em EG = -0,8 e
- cp_e em FH = -0,6.

Para cp_i , a NBR6123:1988 informa que os valores para edificações com quatro faces igualmente permeáveis são $cp_i = -0,3$ ou $cp_i = 0$, o que for mais nocivo. Diante do exposto, calculou-se a pior situação para vento a 90° e a 0°.

Situação 1: Vento a 90°

Para o vento a 90° os dois valores dos coeficientes de pressão externa, combinados com o coeficiente de pressão interna tenderam a levantar a cobertura. Porém, para a análise de suporte de carga, devemos utilizar a situação onde cobertura seja “levantada” o menos possível, já que o problema em questão é a análise dos deslocamentos e esforços internos das peças. Assim o mais nocivo ocorreu com $cp_i = -0,3$ e os esforços dos coeficientes de pressão, externo e interno, com vento a 90° podem ser vistos na figura 11.

Figura 11 – Coeficientes de pressão com vento a 90°.



Fonte: A autora (2023).

De acordo com a NBR6123:1988, para “valores positivos dos coeficientes de pressão interna ou externa correspondem a sobrepressões e valores negativos correspondem a sucção”, dessa forma os valores dos coeficientes de pressão foram representados nas figuras 11 e 13.

Sendo assim, tem-se o cálculo da pressão efetiva:

$$\Delta p_1 = (cp_e - cp_i) \cdot q$$

$$\Delta p_1 = (-0,7 - (-0,3)) \cdot 0,043$$

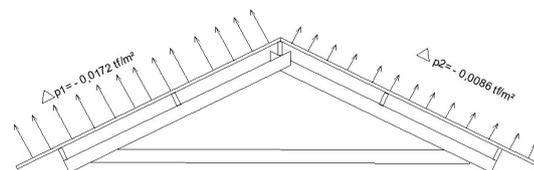
$$\Delta p_1 = -0,0172 \text{ tf/m}^2$$

$$\Delta p_2 = (cp_e - cp_i) \cdot q$$

$$\Delta p_2 = (-0,5 - (-0,3)) \cdot 0,043$$

$$\Delta p_2 = -0,0086 \text{ tf/m}^2$$

Figura 12 – Pressão efetiva com vento a 90°.

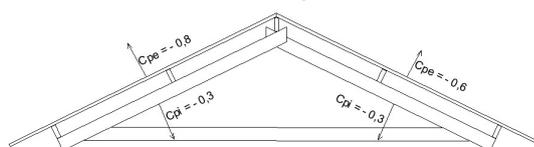


Fonte: A autora (2023).

Situação 2: Vento a 0°

Como na situação 1, para o vento a 0° a combinação dos valores dos coeficientes de pressão externa com o coeficiente de pressão interna também tenderam a levantar a cobertura, então o cálculo foi realizado e o pior caso ocorreu com $cp_i = -0,3$ e os esforços dos coeficientes de pressão, externo e interno, com vento a 0° podem ser vistos na figura 13.

Figura 13 – Coeficientes de pressão com vento a 0°.



Fonte: A autora (2023).

Sendo assim, tem-se o cálculo da pressão efetiva:

$$\Delta p_3 = (c_{p_e} - c_{p_i}) \cdot q$$

$$\Delta p_3 = (-0,8 - (-0,3)) \cdot 0,043$$

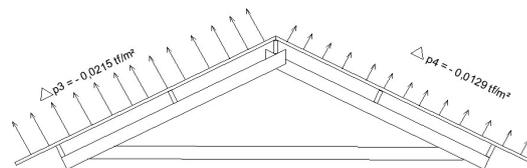
$$\Delta p_3 = -0,0215 \text{ tf/m}^2$$

$$\Delta p_4 = (c_{p_e} - c_{p_i}) \cdot q$$

$$\Delta p_4 = (-0,6 - (-0,3)) \cdot 0,043$$

$$\Delta p_4 = -0,0129 \text{ tf/m}^2$$

Figura 14 – Pressão efetiva com vento a 0°.



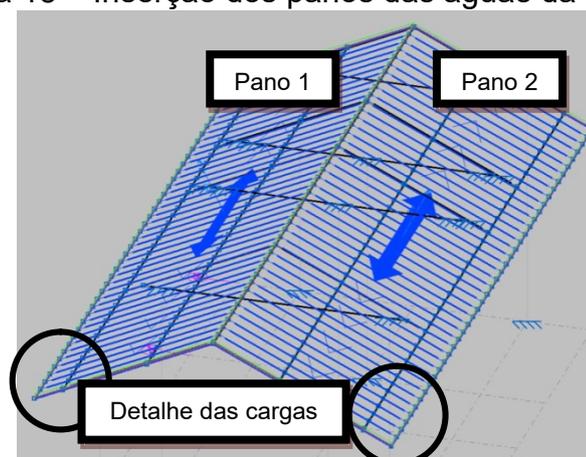
Fonte: A autora (2023).

“Valores positivos para Δp indicam uma pressão efetiva com o sentido de uma sobrepressão externa e um valor negativo para Δp indica uma pressão efetiva com o sentido de uma sucção externa” (NBR 6123, 1988).

Dessa forma, na cobertura em questão o vento aliviou as cargas impostas pelo peso próprio, telhas, placas solares e sobrecarga e o menor alívio seria em Δp_1 e em Δp_2 e, portanto, esses são os valores relativos ao vento que serão os inseridos no software Cype 3D.

Finalizada a parte de verificação das cargas presentes na estrutura, iniciou-se a inserção das mesmas no programa. Para isso, foram inseridos dois panos, um em cada água da cobertura e neles serão inseridas as cargas supracitadas (figura 15).

Figura 15 – Inserção dos panos das águas da cobertura



Fonte: A autora (2023).

E por ele trabalhar com tf/m^2 como unidade de medida, as cargas supracitadas foram convertidas de kN/m^2 para tf/m^2 e inseridas no software, conforme figuras 16 e 17:

Figura 16 – Cargas consideradas no pano 1, pontos E, F e I.

Hipótese	Sentido positivo	Valor
Telha cerâmica	Vertical para baixo	0.045
Placas Solares	Vertical para baixo	0.015
Sobrecarga	Vertical para baixo	0.025
Vento 1	(-0.433, 0, 0.901)	-0.017

Fonte: Cype 3D v.2023f.

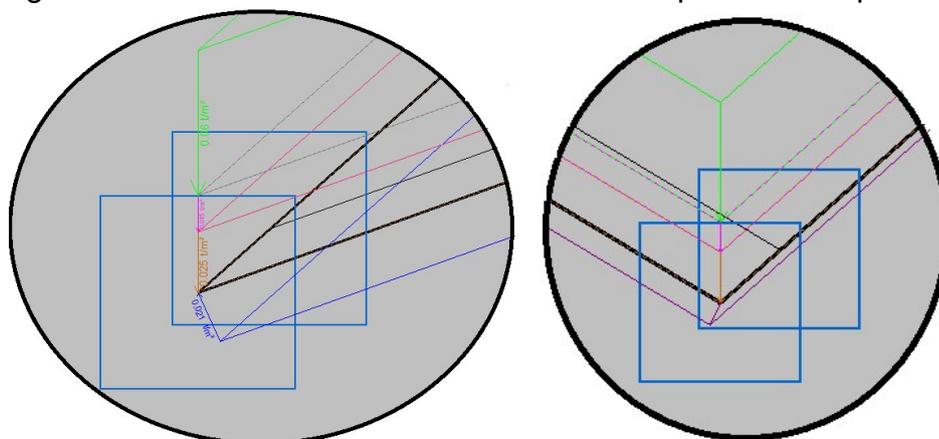
Figura 17 – Cargas consideradas no pano 2, pontos G, H e J.

Hipótese	Sentido positivo	Valor
Telha cerâmica	Vertical para baixo	0.045
Placas Solares	Vertical para baixo	0.015
Sobrecarga	Vertical para baixo	0.025
Vento 2	(0.433, 0, 0.901)	-0.009

Fonte: Cype 3D v.2023f.

Após a inserção das cargas nos panos, é possível visualizar as resultantes das cargas inseridas na cobertura (figura 15 e 18). Para isso, o Cype 3D nos permite visualizar, em detalhes, as cargas inseridas através de vetores, conforme figura 18.

Figura 18 – Detalhe dos vetores resultantes no pano 1 e no pano 2.



Fonte: Cype 3D v.2023f.

Após o lançamento da estrutura, parâmetros e cargas presentes na estrutura, os modelos 3D foram gerados conforme figura 19 abaixo.

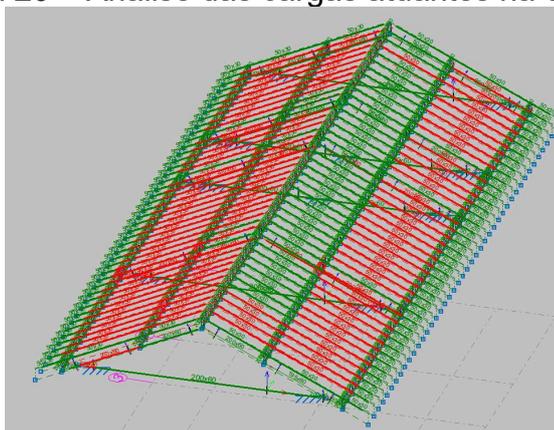
Figura 19 – Modelagem em 3D da cobertura de madeira



Fonte: Cype 3D v.2023f.

Em seguida, estrutura foi calculada e verificada pelo software. Procedendo-se a análise das informações geradas pelo Cype 3D, onde se constatou a presença de barras verdes e vermelhas (figura 20) que indicam que ela não passou.

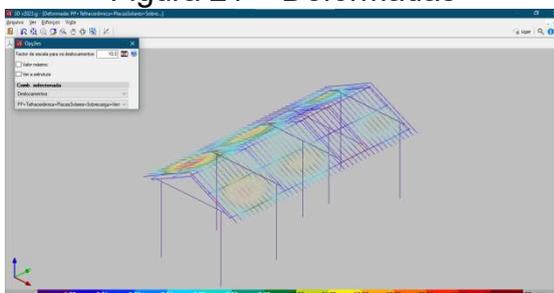
Figura 20 – Análise das cargas atuantes na cobertura



Fonte: Cype 3D v.2023f.

Os caibros em vermelho mostram que estrutura está com as deformações e resistência fora dos padrões solicitados por norma, conforme se observa na figura 21, que mostra as deformadas da combinação de hipóteses da utilização das telhas, das placas solares, da sobrecarga, do vento e do peso próprio ao mesmo tempo.

Figura 21 – Deformadas



Fonte: Cype 3D v.2023f.

Vemos que maior deformação causada pela combinação supracitada é de 18,79mm.

Para a cobertura ser aprovada é necessário que as peças estruturais estejam desempenhando bem suas funções básicas no sistema e posicionadas de maneira correta, com dimensões e vãos aceitáveis.

Dessa forma, no modelo atual, a cobertura não suportaria as novas cargas aplicadas pelas placas solares, por não cumprirem seu papel no sistema estrutural, pois suas peças possuem dimensões e vãos inaceitáveis perante as normas.

4 CONCLUSÃO

Trata-se de uma cobertura em bom estado de conservação e que possui uma trama bem estruturada. Diante desses fatos, algumas empresas, não idôneas, acabam realizando a instalação sem a devida avaliação especializada e conforme estudado, a cobertura não suportaria a carga extra que as placas adicionariam à estrutura.

A estrutura não apresenta manifestações patológicas nos elementos estruturais que a compõem. Portanto, não há anomalias presentes que causem perda de desempenho, de funcionalidade e dano estético à estrutura.

Entretanto, recomendou-se que, antes da instalação das placas solares, devem ser inseridas peças nas treliças para reforçá-las e para que elas satisfaçam as condições de uso e segurança. Aconselhou-se ainda, ao proprietário da edificação, a elaboração de um plano de acompanhamento e manutenção periódicos, para garantir a perfeita qualidade das peças e seu ótimo desempenho, pois a preservação de madeiras ajuda no controle dos agentes biológicos, físico e químicos que a afetam.

Feitas tais intervenções, entende-se que a cobertura suportaria as novas cargas aplicadas pelas placas solares, atendendo aos padrões impostos pelas normas.

Dessa forma, os proprietários de edificações que decidam instalar placas solares, que irão gerar cargas adicionais na estrutura de cobertura, devem consultar um profissional habilitado para avaliar se a estrutura irá suportar tais alterações, não podendo ser observado o bom estado de conservação de forma isolada.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120. Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123. Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190-1. Projeto de estruturas de madeira. Parte 1: Critérios de dimensionamento. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681. Ações e segurança na estrutura - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR15575-5-Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16747. Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro, 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **ANEEL sinaliza novo recorde para expansão da geração em 2023**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 20 jan. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-sinaliza-novo-recorde-para-expansao-da-geracao-em-2023>>. Acesso em: 18 ago. 2023.

BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil**. Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais#>>. Acesso em: 21 ago.2023

CASTRO, Vinicius Gomes de et al. **Deterioração e preservação da madeira**. Mossoró: EdUFERSA, 2018.

COSTA, Andrelise Cardoso et al. **Energia solar fotovoltaica uma alternativa viável?**. Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 6, n. 9, p. 72637–72656, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n9-639. Disponível em: <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/17385>>. Acesso em: 18 ago. 2023

Da Silva, Marcos Alécio Campos et al. **Manifestações patológicas na estrutura de um telhado: Estudo de caso**. In: Congresso Brasileiro Ciência e Sociedade, 2019, Teresina. Anais eletrônicos. Campinas, Galoá, 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/cbcs/cbcs-2019/trabalhos/manifestacoes-patologicas-na-estrutura-de-um-telhado-estudo-de-caso?lang=pt-br>>. Acesso em: 19 ago. 2023.

Da Silva, Matheus et al. **Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica**. Revista Mythos, v. 14, n. 2, p. 51-61, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.unis.edu.br/index.php/mythos/article/view/467/377>>. Acesso em: 18 ago. 2023.

FRAGA, Iuri Fazolin et al. **Influência dos modelos idealizados de ligações no dimensionamento de treliças Howe de madeira**. Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, João Pessoa, v. 59, n. 3, p. 1028-1050, 2022. ISSN 2447-9187. Disponível em: <<https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/5050>>. Acesso em: 15 ago. 2023.

GOMES, Arthur Filipe Freire et al. **Deslocamentos excessivos em coberturas de madeira como condicionantes de patologias**. Ambiente Construído, v. 21, n. 3, p. 147-158, 2021Tradução. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000300543>>. Acesso em: 17 ago. 2023.

MOLITERNO, Antonio. **Caderno de Projetos de Telhados em Estruturas de Madeira**. 4ª Edição. São Paulo: Blucher, 2010.

PARRA, D. A. C.; GALVÃO, J. P. P.; SILVA, J. S. da. **Pathologies in wooden structure**. Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 8, p. e33611830268, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i8.30268. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/30268>>. Acesso em: 17 ago. 2023.

SÁ, M. D. S.; NETO, R. M.; MADEIRA, R. B. **Estudo comparativo entre dois formatos de reservatórios: análise estrutural através do software Cypecad.** Revista da FAESF, vol. 6, n.2. p. 24-36 Abril-Jun (2022). ISSN 2594 – 7125. Disponível em: <<https://www.faesfpi.com.br/revista/index.php/faesf/article/view/165>>. Acesso em: 17 ago. 2023.

“Telhadômetro” do Canal Solar. **Canal Solar**, 2021. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/telhadometro/>>. Acesso em: 26 ago. 2023.