

ESTUDO DE DIMENSIONAMENTO DE TERÇAS DE MADEIRA: UMA COMPARAÇÃO A PARTIR DE CRITÉRIOS TÉCNICOS E MÉTODOS EMPÍRICOS

*STUDY OF SIZE OF WOODS: A COMPARISON FROM TECHNICAL CRITERIA AND
EMPIRICAL METHODS*

Otavio Fernando Tomczyk¹
Marcio Martinho Mayer²
Peterson Jaeger³
Liane da Silva Bueno⁴

RESUMO

Este artigo trata a respeito do cálculo necessário ao dimensionamento de terças de uma cobertura de edificação, a partir de uma estrutura de madeira em forma de treliça, partindo de um modelo com características construtivas específicas. Tal estrutura foi idealizada, desenhada e construída por meio de critérios empíricos, baseados na experimentação e prática pessoal. Este estudo busca evidenciar diferenças no dimensionamento das terças de madeira, com base em critérios técnicos estabelecidos através de normas técnicas pertinentes ao assunto. Ao final, a comparação entre ambos os projetos, empírico e técnico, identificou-se pontos passíveis de melhoria, tanto na ocorrência de excessos no uso de materiais, como na necessidade de adequação de acordo com a resistência requerida.

Palavras-Chave: Dimensionamento, Treliça de Madeira, Materiais na Construção Civil.

¹ Engenheiro Industrial da Madeira. Centro Universitário da Cidade de União da Vitória (UNIUV).

² Engenheiro Civil e especialista em Engenharia Civil. Docente no Curso de Engenharia Civil da Universidade Comunitária da Região de Chapecó (UNOCHAPECO).

³ Engenheiro Florestal pela Universidade Federal do Paraná. Mestre em Ciências Florestais. Universidade Federal de Lavras. Brasil. Docente no Curso de Engenharia Civil da Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP). e-mail: peterston@uniarp.edu.br.

⁴ Engenheira Civil. Doutora pela Universidade Federal de Santa Catarina. Docente no Curso de Engenharia Civil da Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP). e-mail: liane@uniarp.edu.br.

ABSTRACT

This article deals with the calculation necessary for the sizing of a building cover, from a trussed wooden structure, starting from a model with specific constructive characteristics. Such a structure was idealized, designed and constructed by means of empirical criteria, based on personal experimentation and practice. This study seeks to show differences in the sizing of wood trimmings, based on technical criteria established through technical norms pertinent to the subject. At the end, the comparison between the two projects, empirical and technical, identified areas that could be improved, both in the occurrence of excesses in the use of materials and in the need for adequacy according to the required resistance.

Keywords: Dimensioning, Wood Trellis, Civil Construction Materials.

INTRODUÇÃO

Há indícios do emprego da madeira na construção de diversos itens úteis desde os primórdios do surgimento da humanidade sobre a terra, bem como o desenvolvimento constante das técnicas empregadas em sua utilização. Desde o uso nas primeiras ferramentas rústicas, na construção de tendas e moradias, nas canoas, nas caravelas e até nos aviões, a madeira esteve sempre presente na sociedade exercendo grande importância no dia a dia. Portanto, não se pode esquecer que existem diversas maneiras de utilizá-la, pois a madeira vem evoluindo no decorrer das épocas e, de região para região. Atualmente, se está diante de um panorama onde a madeira tem grande relevância, seja em virtude de representar uma alternativa renovável de matéria prima, seja pelas suas características favoráveis ou até mesmo pelas técnicas de uso que vem sendo constantemente aprimoradas.

Segundo Pfeil (2003), a madeira é, provavelmente, o material de construção mais antigo, dada a sua disponibilidade na natureza e sua relativa facilidade de manuseio. Quando comparada a outros materiais com características e usos semelhantes, a madeira se sobressai, principalmente em virtude de seus pontos favoráveis como a relação resistência x peso, além de ser facilmente trabalhada e apresentar bom isolamento térmico e acústico.

No entanto Pfeil (2003), ainda afirma que, a madeira está sujeita a degradação por ataque de fungos, brocas e outros organismos xilófagos, e também

a ação do fogo. O referido autor ressalta o fato de que a madeira é um material natural, portanto, apresenta alguns defeitos, como nós e fendas que vem a interferir negativamente em suas propriedades mecânicas.

Contudo, as características negativas do material podem ser facilmente contornadas através de métodos apropriados, baseados em critérios técnicos e tecnologias adequadas, resultando em produtos confiáveis e de qualidade.

Um entre os diversos empregos da madeira é a confecção de estruturas para as mais diversas construções, independente da aplicação a que se destina a obra, as características como leveza, resistência e praticidade, colaboram para que a esta se sobressaia diante de outros materiais. Como não poderia ser diferente, para a construção de estruturas de madeira, há constante evolução, sempre visando a otimização dos resultados.

Um dos usos mais comuns e tradicionais da madeira é o voltado à construção de estruturas específicas para coberturas, visando suportar as cargas atuantes no telhado e as diversas intempéries. Com o respaldo de materiais de apoio, normas técnicas elaboradas especificamente para o uso da madeira, pesquisas sobre o tema, é possível atingir resultados ainda melhores no uso em estruturas para coberturas, sendo este o foco deste estudo. Em virtude do amplo campo de pesquisa existente sobre o tema, o objetivo será identificar possíveis melhorias no projeto de uma estrutura de cobertura concebida de modo empírico, se utilizando critérios técnicos.

As normas são materiais de apoio elaborados com base em ensaios e outros métodos regidos pela metodologia científica, cujos resultados podem ser verificados, garantindo a fidedignidade das informações. Neste trabalho consultou-se as normas NBR 6123:1988 e NBR 7190:1997 para a busca de informações indispensáveis ao dimensionamento da estrutura avaliada. A NBR 6123:1988 trata especificamente da atuação do vento em edificações em geral, propiciando todos os dados necessários ao cálculo da carga final sobre a estrutura em decorrência do vento. Para isto, esta norma aborda conteúdos como a velocidade do vento por regiões, a influência que fatores como relevo, existência de obstáculos, a finalidade da obra, fatores dimensionais e outros que comporão a intensidade final da carga representada pelo vento. Na norma NBR 7190:1997 encontram-se as diretrizes para a elaboração de estruturas de madeira, como coeficientes de segurança e

outros afins, a abordagem correta que se aplica às cargas de natureza acidental ou permanente. Também estão disponíveis nesta norma as equações, as fórmulas e a metodologia para o cálculo de algumas das variáveis mais importantes atuantes sobre a estrutura e suas particularidades.

Para a prática do dimensionamento, algumas informações preliminares são primordiais. Entre os dados necessários à concepção estão: a localização e outras informações referentes à área ao seu entorno, o uso a que se destina a construção, os materiais a serem utilizados e as dimensões desejadas.

A localização e outros dados relativos à área ao entorno da obra tem importância na etapa de avaliação da carga do vento, já que cada região do país apresenta valores distintos, e o aspecto da circunvizinhança pode majorar ou diminuir a influência deste valor. O uso a que se destina a construção é importante, pois de acordo com a aplicação são impostos coeficientes de segurança distintos para a estrutura. Os materiais a serem utilizados, neste caso a madeira, discriminando a espécie e outras informações, pois de acordo com a escolha haverá um peso maior ou menor a ser considerado como peso próprio da estrutura. Ainda, a estrutura poderá ser mais resistente ou não de acordo com os níveis de resistência tabelados para determinada espécie de madeira.

No caso de construções com telhas de fibrocimento, ditas autoportantes, não há a necessidade de ripões ou caibros, sendo que para atender ao vão necessário às telhas a existência da terço já é satisfatória. A terço localiza-se entre o banzo superior e a cobertura das telhas, portanto as cargas relativas ao vento, peso de telhas, sobrecarga de montagem e peso da própria terço devem ser suportadas inicialmente pela terço e transferidas posteriormente aos nós da treliça.

Porém, há uma particularidade no dimensionamento da terço diante do dimensionamento das barras da treliça, pois enquanto as cargas nas barras das treliças atuam sempre no sentido das fibras da madeira, gerando tração e compressão, nas terços estas cargas atuam no sentido perpendicular. As cargas que atuam no sentido perpendicular às fibras da madeira agem de modo diverso, causando deformação, cisalhamento e requerem um tipo específico de resistência.

Há duas hipóteses de carregamento, a sobrepressão ou a sucção, porém nota-se que a barra da terço está em um plano perpendicular a atuação do

carregamento e é independente para o seu dimensionamento se a carga atuará de cima para baixo, sobrepressão, ou de baixo para cima, sucção. Deste modo, adota-se a carga cujo valor em módulo for mais significativo, pois resistindo ao quadro mais nocivo, haverá resistência de sobra para a situação mais branda.

MATERIAL E MÉTODOS

O local de referência para a construção do barracão é a área rural do município de São Mateus do Sul, no sul do Paraná. O barracão a ser construído é destinado o uso como granja para a criação comercial de frangos, tem como dimensões: comprimento de 100 metros; largura de 16 metros; altura do pé direito de 2,5 metros; inclinação da cobertura de 15º ou 27 %; cobertura com uma saliência de 60 cm em todo o perímetro da obra para proteção contra intempéries. A madeira a ser empregada na confecção das treliças da cobertura é de eucalipto (*Eucalyptus dunnii*), com densidade de 690 kg/m³ a 12% de umidade, segundo Pfeil (2003). O telhado será em duas águas, tipo plana, para cobertura com telhas de fibrocimento com as seguintes características: espessura de 8 mm; comprimento de diversos padrões, de acordo com a necessidade do cliente quanto ao vão; largura de 1,1 metros, sendo a largura útil de 1,05 metros; peso médio de 24 Kgf/m². Vão livre será a distância entre um nó e o seguinte, sendo que as telhas serão apoiadas sobre terças, que descarregarão os esforços diretamente sobre a treliça.

O tipo de treliça a ser empregado não é comumente utilizado por outros fabricantes, pois se trata de uma adaptação realizada pela própria empresa, onde empiricamente obtiveram-se resultados satisfatórios de resistência, operacionalidade e economia de material. Este modelo é ilustrado na figura 01. O afastamento entre uma treliça e outra no barracão foi determinado em de 2,5 metros, conforme a exigência do proprietário, sendo necessárias quarenta e uma peças para toda a cobertura a edificação objeto.

Não serão adotados caibros e ripões, já que em coberturas com telhas de fibrocimento estes não se fazem necessários em virtude da dimensão do vão livre ser bastante flexível, se adequando aos pontos de descarregamento nos nós da treliça.

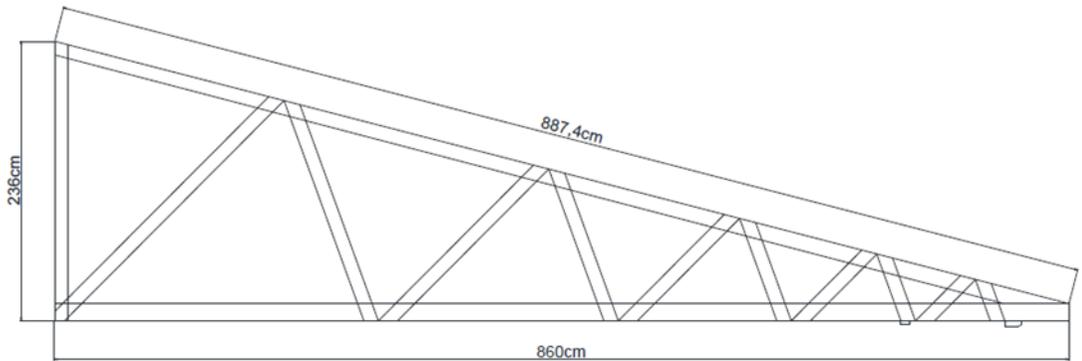


Figura 1 - Modelo de treliça adotado na edificação em estudo.

A pressão dos ventos representa a carga propriamente dita, resultante da ação do vento sobre o telhado, sendo composta por fatores como velocidade característica do vento, C_{pe} e C_{pi} . O C_{pe} tem por finalidade mensurar através de um coeficiente a intensidade da pressão dinâmica do vento, já que variando-se a inclinação do telhado altera-se a forma como a pressão atuará sobre ele. O C_{pi} indica por meio de um coeficiente qual seria a pressão oferecida pelo vento na hipótese de o mesmo atuar na parte interna da edificação, isto justifica que o principal fator verificado é a permeabilidade das paredes. Portanto devem ser selecionados dois valores para C_{pi} , um que indica a atuação do vento perpendicular a uma parede impermeável e outro que indica a atuação do vento a uma parede permeável. A ação dos ventos foi determinada conforme a NBR 6123:1988

Dimensionou-se a seção transversal das terças observando-se três critérios: flexão, deformação e cisalhamento. O dimensionamento baseado na flexão, na deformação e no cisalhamento foram determinados conforme as expressões 01, 02 e 03, respectivamente.

$$\sigma_f = \frac{p \times l^2 \times 6}{8 \times b \times h^2} \quad (01)$$

$$\frac{5 \times 12 \times l^3}{384 \times E \times b \times h^3} \times (1,5g + q) = \frac{1}{350} \quad (02)$$

$$\tau = \frac{p \times l \times 15}{16 \times b \times h} \quad (03)$$

Onde: σ_f - tensão de flexão simples; p - a carga aplicada sobre a peça; l - o comprimento da peça; b - a dimensão da base; h - a altura da seção transversal requerida para a peça; E - módulo de elasticidade longitudinal; g - a carga permanente (peso específico das telhas, peso da estrutura); q - carga acidental (sobrepessão ou sucção do vento, sobrecarga de montagem); τ - tensão de cisalhamento.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram utilizadas telhas de fibrocimento com oito milímetros de espessura, para as quais é atribuído um peso específico de 24 kgf/m², segundo Eternit (2010). O fabricante não indica a necessidade de acréscimo no peso específico devido à absorção de umidade, portanto esta hipótese será descartada para fins de cálculo.

Por ser de natureza transitória, classificada como de média duração de acordo com a análise de diversos itens da norma NBR 7190:1997, conclui-se que a sobrecarga de montagem segura a ser admitida neste projeto será de 25 kgf/m².

O Município de São Mateus do Sul é considerado pela norma NBR 6123:1988 como localizado na região da estação treze, sujeita a velocidade dos ventos de até 45 m/s.

O terreno pode ser classificado como plano ou fracamente acidentado, devido à ausência de taludes, morros ou depressões consideráveis na área da instalação e sua circunvizinhança. Desta forma o fator topográfico S_1 assume o valor 1,0.

A NBR 6123:1988 classifica a rugosidade do terreno, em função da existência na área de entorno da edificação de árvores esparsas e construções baixas, como granjas, residências e outras edificações típicas da área rural, indicando o enquadramento na categoria III. Ainda, leva em consideração a maior dimensão da edificação, sendo esta superior a 50 metros, a qual enquadra-se na classe C. O fator de rugosidade S_2 foi determinado conforme as preconizações da NBR 6123:1988 sendo determinados pela expressão 04.

$$S_2 = b \times F_r \times \left(\frac{z}{10}\right)^p \rightarrow 0,93 \times 0,95 \times \left(\frac{4,86}{10}\right)^{0,115} \rightarrow S_2 = 0,8131 \quad (04)$$

Onde: z - soma do pé direito e da altura da treliça; b, Fr e p – variáveis tabeladas na NBR 6123:1988, determinadas em função da classe e da categoria da edificação.

Fator Estatístico S_3 avalia a ocupação da edificação e o uso a que se destina, determinando um coeficiente de segurança para cada situação. A verificação e determinação do coeficiente está disponível no item 5.4. da norma NBR 6123:1988, onde através da tabela observa-se que a edificação pode ser considerada como pertencente ao grupo 3 (Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.), sendo indicado o fator estatístico S_3 igual à 0,95.

Uma vez determinados os fatores anteriormente citados, determinou-se a velocidade característica do vento, sendo determinada pelo produto desses fatores, conforme expressão 05.

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3 \rightarrow 45 \times 1,0 \times 0,8131 \times 0,95 \rightarrow V_k = 34,76 \text{ m/s} \quad (05)$$

O coeficiente de pressão externo, exercido externamente sobre a cobertura é fornecido através da consulta a NBR 6123:1988 em sua tabela 5, onde os valores estão ordenados de acordo com a inclinação do telhado e a relação base x altura do pé direito da construção. Como a inclinação do telhado da edificação em análise é de 15° e a relação base x altura é menor do que ½, temos o coeficiente de pressão externo $C_{pe} = -1,4$.

O coeficiente de pressão interna C_{pi} , define um coeficiente de acordo com a permeabilidade das paredes da edificação, ou seja, a existência de janelas ou portas. As paredes do barracão serão mantidas fechadas por uma membrana plástica que impedirá a circulação do vento, com exceção de duas faces que embora apresentem a membrana serão dotadas de sistemas de ventilação forçada, acionada ocasionalmente para controle de temperatura e umidade interna.

Desta forma, a condição mais coerente com este caso está descrito na

norma NBR 6123:1988 em seu item 6.2.5. alínea a: “Duas faces opostas igualmente permeáveis, as outras faces impermeáveis: i) vento perpendicular a uma face permeável: $C_{pi} = +0,2$; ii) -vento perpendicular a uma face impermeável: $C_{pi} = -0,3$ ”.

A pressão efetiva é determinada pela situação mais agressiva dentre aquelas originadas da combinação dos fatores até aqui avaliados. Tais combinação são mostradas nas expressões 06, 07, 08 e 09, onde é possível verificar que as condições mais nocivas são $-0,55 \text{ kgf/m}^2$ (sucção) e $2,95 \text{ kgf/m}^2$ (sobrepessão).

$$\Delta p = (-1,4 - 0,2) \times \left(0,613 \times \frac{34,76^2}{41} \times 0,1019716 \right) = 2,95 \text{ kgf/m}^2 \quad (06)^5$$

$$\Delta p = (-1,4 + 0,3) \times \left(0,613 \times \frac{34,76^2}{41} \times 0,1019716 \right) = 2,03 \text{ kgf/m}^2 \quad (07)$$

$$\Delta p = (0,0 - 0,2) \times \left(0,613 \times \frac{34,76^2}{41} \times 0,1019716 \right) = 0,37 \text{ kgf/m}^2 \quad (08)$$

$$\Delta p = (0,0 + 0,3) \times \left(0,613 \times \frac{34,76^2}{41} \times 0,1019716 \right) = -0,55 \text{ kgf/m}^2 \quad (09)$$

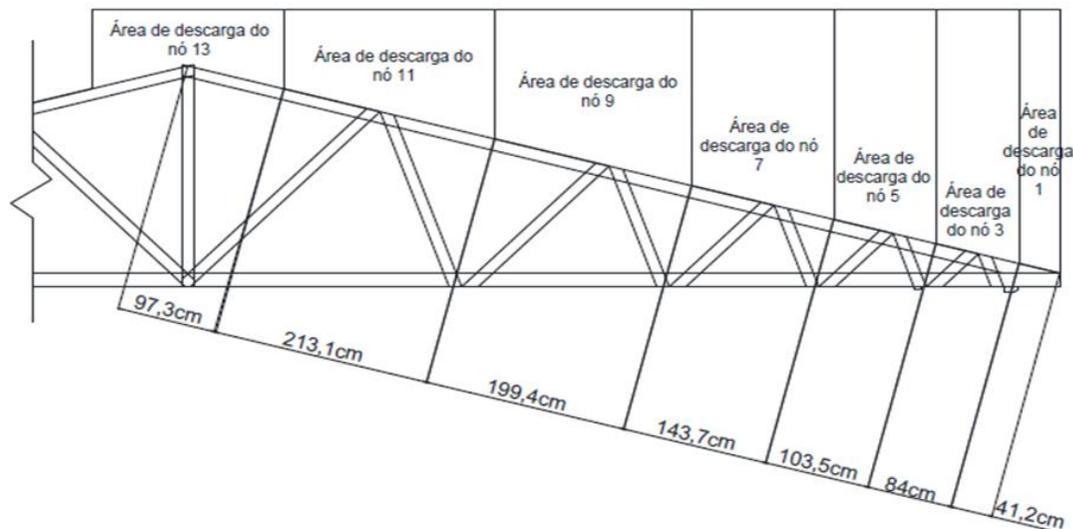
Com base nestes dois valores, podemos determinar o esforço resultante nas duas hipóteses consideradas (sucção e sobrepressão) devendo ser considerada para fins de dimensionamento aquela mais agressiva. A Tabela 1 mostra o resumo de forças em cada hipótese, onde é demonstrado seu somatório e verificado que a hipótese de sobrepressão é a que tem maior incidência sobre a cobertura.

⁵ A constante 0,1019716 não é parte integrante da expressão; corresponde ao fator de conversão da unidade N/m^2 para a unidade kgf/m^2 .

Tabela 1 - Resumo das forças atuantes sobre a cobertura nas hipóteses de sucção e sobrepressão.

Hipótese	Item	Carga unitária	Carga total
Sucção	Peso específico das telhas	24,00 kgf/m ²	23,45 kgf/m ²
	Ação dos ventos	-0,55 kgf/m ²	
Sobrepressão	Peso específico das telhas	24 kgf/m ²	51,95 kgf/m ²
	Sobrecarga de montagem	25,00 kgf/m ²	
	Ação dos ventos	2,95 kgf/m ²	

Os esforços obtidos estão expressos em forma de pressão, onde há uma carga distribuída sobre determinada área, porém para efeito de cálculo estes esforços devem ser concentrados nos pontos da estrutura que os suportarão. As cargas analisadas até o momento estão sobre a estrutura, ou seja, descarregando seus esforços ao longo das terças e, em seguida, distribuídos nos diversos nós do banzo superior. No entanto, nota-se que as distâncias entre os nós do banzo superior são variadas, havendo a necessidade da demarcação das áreas de descarga, sejam das terças, sejam dos nós, através do ponto médio entre um nó e outro e do ponto médio da distância entre uma treliça e outra. As áreas de descargas são ilustradas na Figura 2.

**Figura 2** - Áreas de descarga no plano do banzo superior.

As medidas relativas ao ponto médio entre as treliças seguem um padrão, pois o afastamento entre todas é de 2,5 metros, cabendo a cada treliça suportar

com as cargas que se encontram a 1,25 metros a sua direita e a sua esquerda. Logo cada terço e cada nó terão como área de descarga delimitada a distância apresentada na Figura 2 multiplicada pela distância de 2,5 metros. Os resultados são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Áreas de descarga para os nós no plano do banzo superior.

Nó	Distância entre nós	Distância entre treliças	Área de descarga
N-13	1,946 m	2,5 m	4,865 m ²
N-11	2,131 m	2,5 m	5,327 m ²
N-09	1,994 m	2,5 m	4,985 m ²
N-07	1,437 m	2,5 m	3,592 m ²
N-05	1,035 m	2,5 m	2,587 m ²
N-03	0,840 m	2,5 m	2,100 m ²
N-01	0,412 m	2,5 m	1,030 m ²

A hipótese de maior agressividade (sobrepessão) atua no sentido vertical a qual, devido à inclinação da cobertura, foi decomposta na componente perpendicular ao plano da cobertura antes de ser distribuída nas áreas de descarga a fim de obter a carga efetiva que está sendo exercida em cada terço. Isto posto, deve-se considerar o peso próprio das terças na consolidação das cargas. O peso próprio da terço, além da densidade da madeira, leva em consideração como medida inicial aquela adotada pelos construtores (3" x 5"), ou seja, 7,62 cm x 12,65 cm, obtendo-se o valor, para cada peça, conforme demonstrado na expressão 10. As cargas decompostas e efetivas são demonstradas na Tabela 4.

$$pp = 0,0762 \times 0,1265 \times 2,50 \times 690 = 16,6278 \text{ kgf} \quad (10)$$

Tabela 4 - Carga efetiva exercida sobre as terças.

Nó	Cargas acidentais			Cargas permanentes			Carga efetiva (g+q)
	V	SM	g (V+SM)	T	PP	q (T+PP)	
N-13	14,19	120,26	134,45	115,45	16,63	132,08	266,53
N-11	15,54	131,68	147,22	126,41	16,63	143,04	290,26
N-09	14,54	123,23	137,77	118,30	16,63	134,92	272,69
N-07	10,48	88,79	99,27	85,24	16,63	101,87	201,14
N-05	7,55	63,95	71,49	61,39	16,63	78,02	149,51
N-03	6,13	51,91	58,04	49,83	16,63	66,46	124,50
N-01	3,00	25,46	28,47	24,44	16,63	41,07	69,54

Onde: V – ação dos ventos; SM – sobrecarga de montagem; g – total de cargas acidentais; T – peso das telhas; PP – peso próprio da terça; q – total de cargas permanentes; Todos os valores estão expressos em kgf.

Verificou-se que o critério de deformação apresentou os maiores valores de dimensionamento, devendo ser escolhidos. Comparativamente à dimensão padronizada adotada de 3" x 5" (7,62 cm x 12,65 cm) observamos as diferenças na altura da terça constantes na Tabela 5 e demonstrada na Figura 4. É possível observar o superdimensionamento em todas as terças estudadas. Em virtude do modelo de treliça adotado, as terças mais próximas à lateral da cobertura necessitam menores alturas, uma vez que se encontram mais próximas umas das outras, o que resulta em menores áreas de descarga, conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 2 - Comparativo entre a dimensão altura adotada e altura calculada.

Nó	Altura adotada		Altura calculada		Diferença (pol.)
	cm	pol.	cm	pol.	
N-13	12,65	5,0	10,12	4,0	1,0
N-11	12,65	5,0	10,12	4,0	1,0
N-09	12,65	5,0	8,86	3,5	1,5
N-07	12,65	5,0	7,59	3,0	2,0
N-05	12,65	5,0	7,59	3,0	2,0
N-03	12,65	5,0	7,59	3,0	2,0
N-01	12,65	5,0	7,59	3,0	2,0

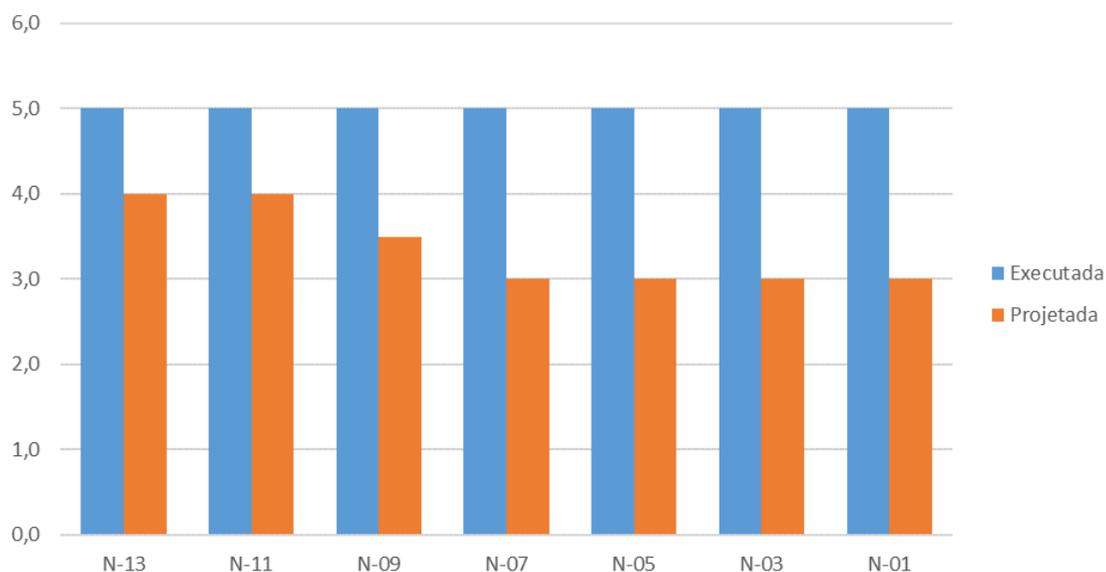


Figura 4 - Dimensões executada e projetada para cada terça localizada sobre os respectivos nós indicados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados obtidos com o dimensionamento técnico forneceu subsídios para afirmar que o modelo empírico tende ao superdimensionamento, uma vez que todas as terças analisadas apresentaram dimensões projetadas menores do que aquelas executadas, indicando ainda, que a estrutura de terças não apresenta pontos de vulnerabilidade. Considerando o balanço geral, o conjunto de terças apresentou superdimensionamento variando de uma a duas polegadas na sua altura, em cada vão entre as treliças, o que representa para o total da cobertura construída, um volume de 29,09 m³ de madeira.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 6123. Forças Devidas ao Vento em Edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ABNT. NBR 7190. Projetos de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

MOLITERNO, A. Caderno de Projetos de Telhados em Estruturas de Madeira. 2^o ed.

São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2006.

PFEIL, W.; PFEIL, M. Estruturas de Madeira. 6ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2003.

TOMCZYK, OTAVIO FERNANDO. Dimensionamento de Trelças de Madeira para Coberturas a partir de Critérios Técnicos comparado a Métodos Empíricos (estudo de caso). União da Vitória – PR, 2010.