

OTIMIZAÇÃO DE SEÇÕES DE TRELIÇAS METÁLICAS PLANAS SUBMETIDAS A CARREGAMENTO VERTICAL UNIFORME

Ramon Rabelo Carvalho (1), Marcio Vito (2).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) *ramon_srs@hotmail.com* (2) *marciovito@unesc.net*

RESUMO

A necessidade por uma sociedade cada vez mais sustentável leva a elaboração de métodos em que se consiga um bom resultado com uma menor utilização de material. Além de contribuir com o meio-ambiente, o menor consumo de aço leva a um menor custo financeiro. Com este pressuposto, nesse estudo, foi realizado uma otimização de seções de treliças planas do tipo *Warren*, com carregamento vertical uniforme sobre os nós. Neste intuito foram criados 21 modelos a serem analisados, todos com 5 metros e com carga de 600 KN distribuída sobre os nós dos banzos superiores, a altura e a inclinação das diagonais das treliças eram variáveis, de acordo com o projeto. Todos os modelos foram calculados de maneira convencional, utilizando um único perfil para toda a estrutura, e depois calculados pelo método otimizado, sendo que para todos os modelos houve uma redução no peso da estrutura, devido a otimização feita nos perfis. O modelo com o menor consumo de aço (MT512) foi 37,59% mais econômico em relação ao peso, que o modelo calculado de maneira convencional (MT509), sendo que o modelo otimizado contou com 23 barras, 5 tipos de perfis diferentes e 7 nós superiores em que foram distribuída a carga utilizada. Um parâmetro importante analisado foi de que a distribuição das barras ao longo da treliça foi simétrico, o que facilita a execução da estrutura.

Palavras Chave: *Treliças planas, otimização de seções, consumo, treliças tipo Warren, dimensionamento.*

1. INTRODUÇÃO

Em uma crescente busca por melhor qualidade, segurança e um menor custo na construção civil, as empresas do ramo imobiliário tem prezado pela racionalização. Sendo o custo um parâmetro importante para o sucesso de um empreendimento, novas técnicas e métodos devem ser testados e utilizados a todo instante, nos projetos estruturais, essa premissa se segue. A utilização do aço estrutural em relação ao concreto armado convencional tem algumas vantagens e desvantagens na elaboração de projetos estruturais, GUANABARA (2010, p. 15) cita que,

O menor tempo de execução, a maior confiabilidade, limpeza da obra e resistência, que propicia a utilização de peças de menores dimensões e que se estendam por maiores vãos. Uma desvantagem das peças metálicas é a impossibilidade de ser moldada em obra e sua variedade de geometrias é limitada aos perfis disponibilizados pelos fabricantes.

SAKIYAMA (2015, p. 25), descreve essa ligação que a entre o consumo e o custo, “O aço estrutural sempre foi um material de elevado custo de produção, fato este que estabelece uma relação direta entre o custo e o peso de uma estrutura em aço.” Para Dias (2004, p. 14) “Novos usos para o aço na construção tornam-se viáveis, ampliando as alternativas de soluções construtivas disponíveis.” A treliça de aço é uma boa alternativa para a construção de edificações, segundo Pereira (2007), treliças são estruturas compostas por barras articuladas nas extremidades (interligadas por rótulas) e, sujeitas, unicamente por esforços axiais. Essa configuração faz com que a estrutura seja leve e ao mesmo tempo resistente.

As treliças, de maneira geral, são constituídas de perfis laminados, que podem ser dispostos de forma única, ou agrupados. Os perfis normalmente utilizados são cantoneiras, Perfil “U”, Perfil “I” e ainda de tubos, que podem ser compostos por solda ou parafusos. (BREUNIG, 2008, p. 27).

Nesse intuito o presente estudo desenvolve-se na busca por melhores soluções na utilização de treliças, levando em consideração a redução de custos como parâmetro, sem deixar de lado a qualidade, segurança e eficiência do projeto. A busca por uma otimização em projetos estruturais é procurada constantemente, SAKIYAMA (2015, p. 20) diz que:

Uma forma de reduzir os custos e aumentar a competitividade desse setor consiste na redução do consumo de aço sem implicar perdas do nível de resistência e desempenho. Essa redução pode ser obtida na fase de projeto e concepção da estrutura.

Como todo e qualquer processo construtivo difundido na sociedade, as construções em aço estão regimentadas por uma norma, a NBR 8800 (2008), que em seu escopo diz “Esta Norma, com base no método dos estados-limites, estabelece os requisitos básicos que devem ser obedecidos no projeto a temperatura ambiente de estrutura de aço e de estrutura mista de aço e concreto de edificações.” (NBR, 8800, p. 1). Portanto todos os cálculos utilizados nesse trabalho estão de acordo com esta norma vigente. Este estudo tem por objetivo comprovar por meio de resultados específicos, a redução de massa total de uma treliça metálica plana, por meio da redução da seção de alguns perfis utilizados, sendo que será calculado a estrutura pelo método convencional, que consiste na utilização de um único tipo de perfil para

toda a treliça e depois pelo método otimizado em que é calculado a sollicitação de cada barra e assim especificado o perfil utilizado. A treliça em estudo possui um comprimento constante de 5 metros, altura variando de 0,25 metros á 1,25 metros e carga vertical constante de 600 KN, distribuida igualmente entre os nós os banzos superiores.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material empregado para o estudo de projeto foi o aço-carbono, o tipo de aço utilizado foi o MR250, com os valores de tensão limite e tensão última de 250 Mpa e 400 Mpa, respectivamente. As especificações mecânicas deste modelo de aço estão explicitas na norma NBR 8800 (2008), em seu anexo A, tabela 01.

Tabela 01 – Especificações mecânicas do aço utilizado no dimensionamento.

Modulo de Elasticidade E (Mpa)	Coefficiente de Poisson ν_a (adm)	Coefficiente de dilatação térmica β_a ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	Massa específica ρ_a (Kg/m ³)
200.000	0,3	$1,20 \times 10^{-5}$	7850

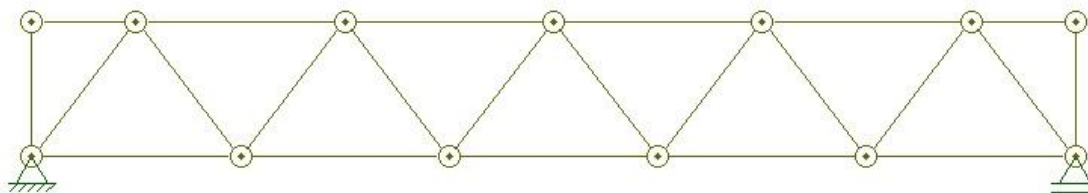
Fonte: ABNT NBR 8800 (2008)

A escolha deste tipo e modelo de material se deve a ampla utilização na área da construção civil, sendo o tipo de aço mais utilizado.

2.1 TIPOLOGIA ADOTADA

Primeiramente foi definida como referência a tipologia, de treliças planas tipo *Warren*, sem utilização de montantes verticais intermediários. Por consideração de projeto, foram definidos que a treliça utilizada seria toda rotulada e com dois apoios, um do primeiro gênero e outro do segundo, encontrados nas extremidades.

Figura 01 – Tipologia adotada como referência.



Fonte: Do autor, 2016

Do modelo inicial foram feitas algumas especificações, para enquadrar os modelos analisados em uma pré-otimização. Segundo Rebello (2000), neste tipo de treliça estudado, o intervalo para um melhor aproveitamento dos materiais se compreende entre uma relação de altura (H) e comprimento (L) de $0,100 \leq H/L \leq 0,200$, o autor também define um intervalo em que devem ficar compreendido os ângulos das diagonais, que são entre 30° e 60° .

Segundo destes parâmetros pré-estabelecidos, a relação H/L foi estendida para obter mais modelos a serem analisados, sendo o novo intervalo proposto de $0,050 \leq H/L \leq 0,250$. Definidos os parâmetros iniciais, foi estipulado um vão constante de 5 metros, com uma carga de 600 KN, distribuída igualmente sobre o nós dos banzos superiores. A altura da treliça variou de 0,25 m até 1,25 m, com intervalos de 5 cm, para uma melhor análise dos dados.

Dentre as especificações estipuladas foram concebidos 21 modelos, com variações de alturas, quantidade de barras, quantidade de nós existentes e tamanho das barras utilizadas, demonstradas na tabela 02.

Tabela 02 – Modelos propostos para análise.

MODELO	L (m)	H (m)	Número de Nós Superiores	Ângulo das Diagonais (°)
MT501	5	0,25	12	45,00
MT502	5	0,30	12	50,19
MT503	5	0,35	12	54,46
MT504	5	0,40	12	58,00
MT505	5	0,45	7	41,99
MT506	5	0,50	7	45,00
MT507	5	0,55	7	47,73
MT508	5	0,60	7	50,19
MT509	5	0,65	7	52,43
MT510	5	0,70	7	54,46
MT511	5	0,75	7	56,31
MT512	5	0,80	7	58,00
MT513	5	0,85	4	34,22
MT514	5	0,90	4	35,75
MT515	5	0,95	4	37,23
MT516	5	1,00	4	38,66
MT517	5	1,05	4	40,03
MT518	5	1,10	4	41,35
MT519	5	1,15	4	42,61
MT520	5	1,20	4	43,83
MT521	5	1,25	4	45,00

MT = Modelo Treliça

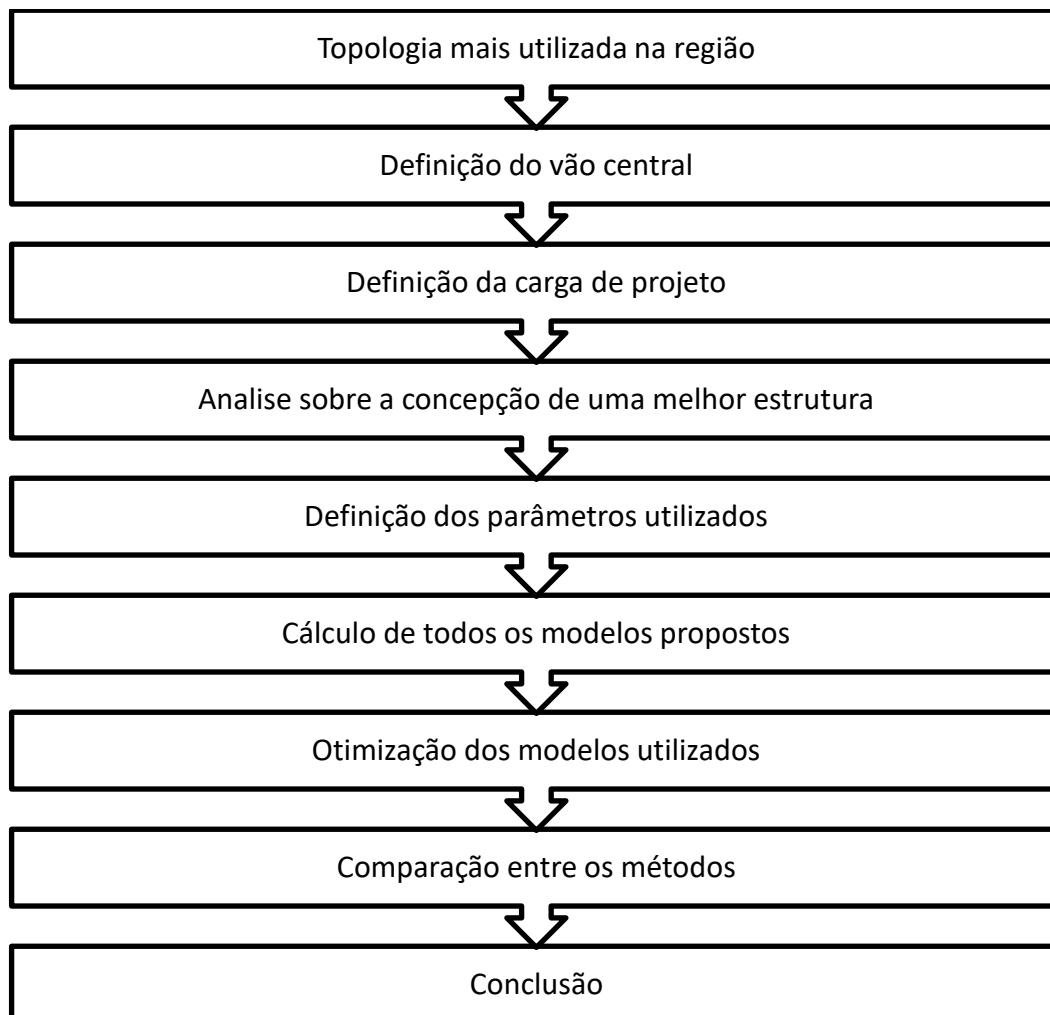
Fonte: Do autor, 2016

A diferença no número de nós existentes se deve a variação de altura, tamanho das barras utilizadas e principalmente pelo ângulo das diagonais que foi sugerido.

2.2 SELEÇÃO DOS PERFIS

Optou-se por perfis laminados tipo “U” retiradas das tabelas de perfis da empresa Gerdau S. A. Para um melhor entendimento dos estudos elaborados, um fluxograma foi elaborado pelo autor (Figura 02).

Figura 02 – Fluxograma das fases do projeto.



Fonte: Do autor, 2016

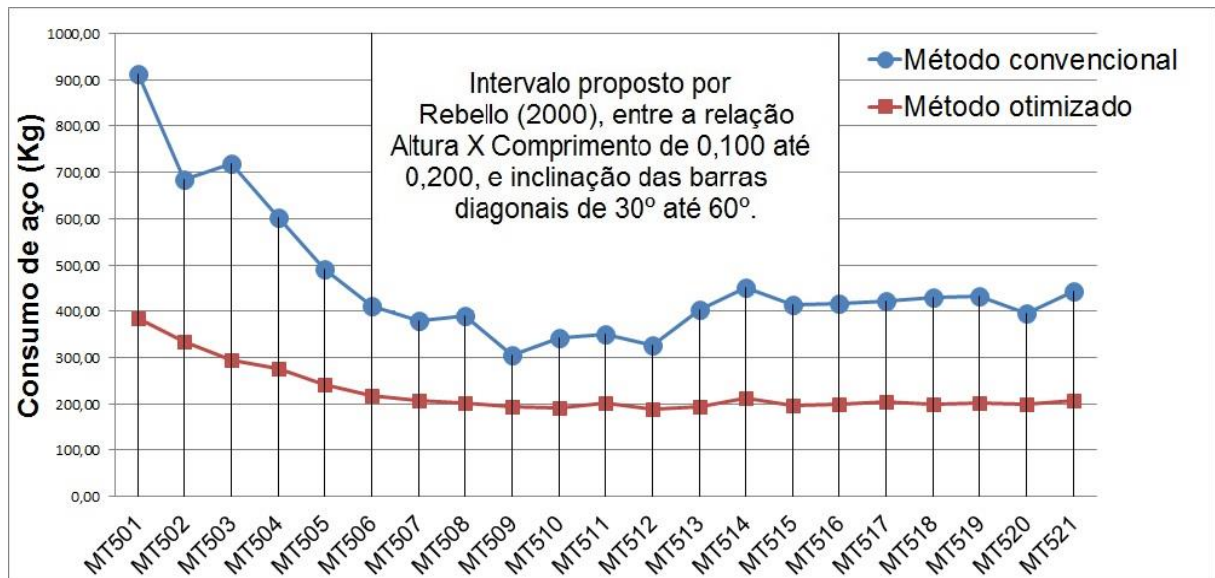
O dimensionamento das barras foi elaborado de acordo com a NBR 8800 (2008), seguindo todos os critérios de segurança e buscando uma maior economia na elaboração do projeto. Todos os cálculos foram elaborados com o auxílio do *software* Excel.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos através do dimensionamento realizado comprovam os parâmetros descritos por Rebello (2000). Os modelos de treliças que foram dimensionados mostram que com a otimização proposta, ocorre uma economia no consumo de aço (Figura 03). Pode-se verificar que a uma tendência de que modelos

de treliça fora desses parâmetros utilizados, não serão econômicos, tendo em vista que o consumo de aço aumenta a medida que se afasta do intervalo descrito, tanto para modelos menores, quanto para maiores.

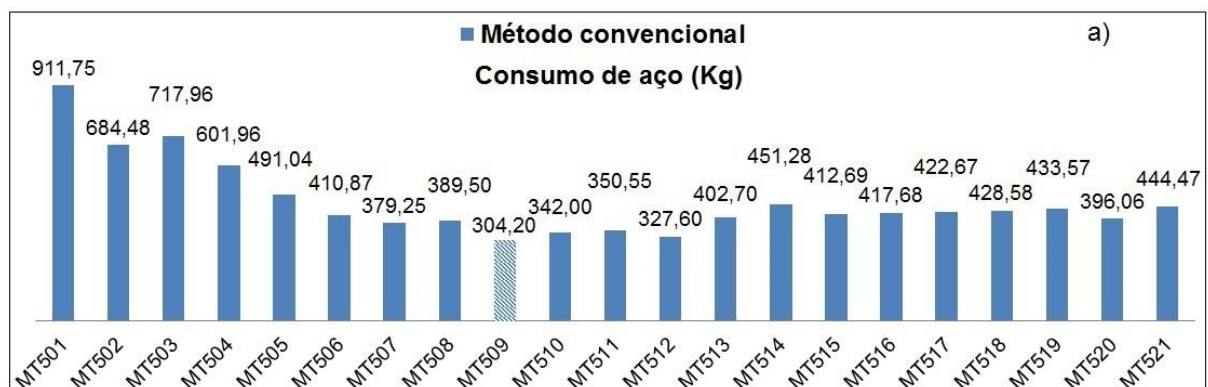
Figura 03 – Consumo de aço dos modelos propostos.

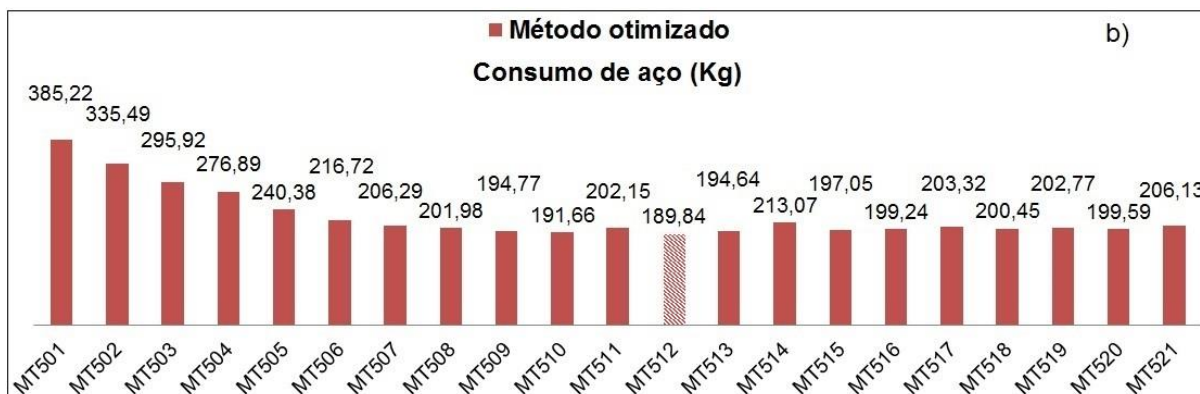


Fonte: Do autor, 2016

O método de otimização de seções leva a uma economia, podendo ter valores mais objetivos e números mais notórios em figuras separadas (Figura 04a e 04b).

Figura 04 – a) Consumo de aço calculado por método convencional; b) Consumo de aço calculado por método otimizado.





Fonte: Do autor, 2016

O mesmo modelo de treliça, executado com diferentes seções, de acordo com a necessidade verificada, pode gerar uma economia de até 58,78% (MT503), evitando desperdícios com a execução de barras com seções muito maiores que as necessárias.

Os resultados exibem que o modelo com menor consumo de aço no método convencional é o MT509 com 304,20 Kg de aço utilizado, já no método de otimização de seções o modelo com o menor consumo de aço foi o MT512 com 189,84 Kg de aço, em relação a os melhores modelos apresentados em ambos os métodos é verificado uma economia de 37,59% no consumo de aço. A diferença entre os modelos com menor consumo se deve a que no modelo MT512 a otimização de seções se enquadrou melhor do que no modelo MT509, levando em consideração a tabela de perfis da empresa Gerdau S. A. Esse tipo de otimização está intimamente ligada com a tabela de perfis utilizada, sendo que quanto maior a variedade de perfis disponíveis, maior será a quantidade de perfis utilizados e consequentemente melhor será o aproveitamento dos mesmos. Este método de otimização de seções gera vários modelos de perfis a serem utilizados em uma mesma treliça, sendo que no método convencional um único modelo de perfil é utilizado para toda a estrutura. Na tabela 03, temos a quantidade de barras empregadas em cada modelo e quantos tipos de perfis foram utilizados.

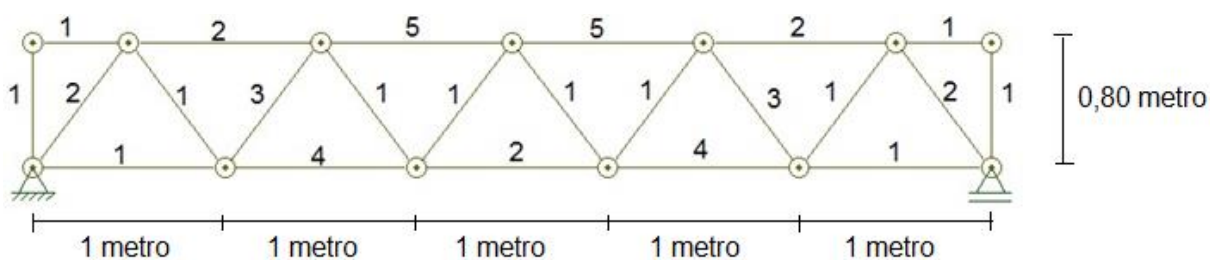
Tabela 03 – Comparativo entre o cálculo pelo método convencional e pelo método de otimização de seções.

Modelo da Treliça	Quantidade de Barras	Método convencional		Método otimizado		Economia (%)
		Modelos de perfis utilizados	Consumo de aço (Kg)	Modelos de perfis utilizados	Consumo de aço (Kg)	
MT501	43	1	911,75	12	385,22	57,75
MT502	43	1	684,48	9	335,49	50,99
MT503	43	1	717,96	12	295,92	58,78
MT504	43	1	601,96	12	276,89	54,00
MT505	23	1	491,04	8	240,38	51,05
MT506	23	1	410,87	7	216,72	47,25
MT507	23	1	379,25	7	206,29	45,61
MT508	23	1	389,50	7	201,98	48,14
MT509	23	1	304,20	6	194,77	35,97
MT510	23	1	342,00	5	191,66	43,96
MT511	23	1	350,55	5	202,15	42,33
MT512	23	1	327,60	5	189,84	42,05
MT513	11	1	402,70	5	194,64	51,67
MT514	11	1	451,28	5	213,07	52,79
MT515	11	1	412,69	5	197,05	52,25
MT516	11	1	417,68	5	199,24	52,30
MT517	11	1	422,67	5	203,32	51,90
MT518	11	1	428,58	4	200,45	53,23
MT519	11	1	433,57	4	202,77	53,23
MT520	11	1	396,06	4	199,59	49,61
MT521	11	1	444,47	4	206,13	53,62

MT= Modelo Treliça
Fonte: Do autor, 2016

No modelo de menor consumo de aço (MT512) são utilizados 5 tipos de perfis diferentes, ficando na pratica uma treliça com o seguinte desenho de tipos de perfis (Figura 05).

Figura 05 – Modelo com menor consumo de aço.



Fonte: Do autor, 2016

O perfil de numero 5, presente em duas barras apenas, é o de maior solicitação e também o de maior massa, sendo que sua massa acrescenta muito ao peso total da estrutura. Os demais perfis estão colocados conforme a solicitação de projeto, sendo que a diminuição do peso da estrutura se deve a essa otimização. Os perfis utilizados neste modelo estão descritos na tabela 04.

Tabela 04 – Descrição das barras utilizadas no modelo MT512.

Numeração das barras	Modelo da tabela de perfis	Quantidade utilizada
1	Perfil "U" 76 x 6,1	12
2	Perfil "U" 152 x 12,2	5
3	Perfil "U" 102 x 8,0	2
4	Perfil "U" 102 x 10,8	2
5	Perfil "U" 152 x 15,6	2

Fonte: Do autor, 2016

4. CONCLUSÃO

Segundo os dados explicitados no presente estudo, é notável que com o passar dos anos, a elaboração de um projeto de engenharia não se diz respeito mas a fazer simplesmente o básico, sendo que vários parâmetros devem ser observados. O custo com certeza é um parâmetro fundamental a ser verificado, levando sempre em consideração a segurança, e conseqüentemente a elaboração de um melhor projeto, com menor custo, se sobressai sobre os demais, tomando destaque. A otimização que foi elaborada por Rebello (2000) e, que foi utilizado neste estudo como uma pré-otimização, seguiu a comprovação de que uma melhor estrutura de treliças do tipo *Warren* se enquadra no valor de H/L de 0,100 á 0,200, sendo que os demais valores apresentados fora deste intervalo se afastam de um modelo ideal com menor consumo de material. A redução no consumo de aço através da otimização de seções proposta, descrito neste estudo, é elevada se comparando com o projeto realizado de forma convencional. A utilização de vários perfis em uma única estrutura de treliça plana, se mostrou bem sucedida neste caso, sendo que em todos

os modelos analisados ocorreu uma economia no consumo de aço. O modelo com o menor consumo foi o MT512, com 189,84 Kg de aço, uma economia de 37,59% se comparado a o modelo MT509, modelos estes com os menores consumos perante o método otimizado e convencional, respectivamente. O modelo com a melhor otimização foi composta por uma estrutura com 23 barras, possuindo 5 tipos de perfis diferentes, com a carga de projeto apoiada sobre 7 nós na parte superior da treliça. A execução deste tipo de modelo se torna mais fácil se comparado a outros modelos apresentados, pois sua altura é de 0,80 metros e a distancia entre as diagonais é de 1,00 metro, o que facilita a trabalhabilidade para a montagem da estrutura. Na utilização pelo modelo otimizado em processos de montagem, deve-se ter um cuidado do responsável, pois com a utilização deste método pode ocorrer a troca na posição das barras, sendo que para não ocasionar este engano, é recomendável a numeração das barras, ou até mesmo fazendo-se uso de cores diferentes para cada tipo de barra utilizada. Como sugestão para trabalhos futuros recomenda-se a avaliação da estrutura com a variação de cargas e do vão utilizado, bem como também o uso experimental em testes de cargas em laboratório para comprovação por meio de resultados mais exatos. O estudo desse método em treliças do tipo *Howe* e *Pratt* também é importante para se obter uma melhor estrutura dentre as mais utilizadas na região sul de Santa Catarina.

5.REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto em edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

BREUNIG, Márcio Nelson. **Análise do desempenho das diferentes topologias de estruturas treliçadas utilizadas em coberturas de pavilhões industriais**. 2008. 143 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de tecnologia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí.

CAETANO, Rafael Pereira. **Otimização geométrica aplicada a estruturas articuladas em aço para treliça em arco submetidas a carregamento vertical uniforme**. 2015. 16 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem.** 5 ed. São Paulo: Zigurate, 2006. 218 p.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Aço e arquitetura: estudo de edificações no Brasil.** São Paulo: Zigurate, 2004. 171 p.

GUANABARA, Matheus Kerkhoff. **Dimensionamento de estruturas metálicas: Rotina computacional para seleção de perfis metálicos.** 2010. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

KRIPKA, Moacir et al. Determinação da geometria e configuração ótimas em treliças metálicas de banzos paralelos. Zacarias M. Chamberlain e Moacir Kripka. **Construção Metálica: Estudos e Pesquisas Recentes. Passo Fundo: UPF Editora,** p. 100-119, 2005.

OLIVEIRA, Sergio Rafael Cortes de; FALCÓN, Gines Arturo Santos. **Otimização geométrica de treliças planas utilizadas em coberturas metálicas. Vértices,** v. 15, n. 2, p. 101-115, 2013.

PEREIRA, João Paulo Gonçalves. **Heurísticas computacionais aplicadas à otimização estrutural de treliças bidimensionais.** 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática e Computacional). Área de concentração: Sistemas Inteligentes – Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de aço: dimensionamento prático.** 8 ed Rio de Janeiro: LTC, 2009. 357 p.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **A Concepção Estrutural e a Arquitetura.** 4. ed. São Paulo: Zigurate, 2000. 271 p.

SAKIYAMA, Felipe Isamu Harger. **ESTRATÉGIA PARA OTIMIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS RETICULADAS PLANAS DE AÇO COM BASE NO CONTROLE DE DESLOCAMENTOS.** 2015. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.