

USO DO SISTEMA ESTRUTURAL GRIDSELL NA CRIAÇÃO DE FORMAS COMPLEXAS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA

Maurício Kunz

Graduando em Arquitetura e Urbanismo pela Faculdade Meridional/École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, Rua Senador Pinheiro, 304, Bairro Rodrigues, CEP 99070-220, Passo Fundo, RS, Brasil.
E-mail: <mauricio_kunz@hotmail.com>.

Márcio Baldissera Prauchner

Docente do Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade Meridional, Rua Senador Pinheiro, 304, Bairro Rodrigues, CEP 99070-220, Passo Fundo, RS, Brasil.
E-mail: <marcio.prauchner@imed.edu.br>.

RESUMO

Nas últimas décadas, juntamente com o aumento do interesse na criação de formas livres em projetos de arquitetura, cresceu também o interesse por estruturas de madeira geradas como um gridshell, um tipo de estrutura reticular tridimensional formada por elementos de barras denominados lamelas, que compõem uma malha losangular, possibilitando a criação de formas curvas complexas (elípticas, hiperbólicas ou cilíndricas). Além da busca pela estética através da geração de formas complexas, o interesse por tais estruturas também deve-se ao excelente desempenho estrutural desse sistema, pois a principal força atuante é a compressão. Com os esforços atuando de forma distribuída, as seções das barras são constantes em toda a extensão das barras, facilitando a fabricação de tais peças. Essas características fazem desse sistema estrutural, uma opção de arquitetura sustentável para a cobertura de médios à grandes vãos em edifícios como galpões, ginásios, estações ou aeroportos. Este trabalho tem por finalidade apresentar a morfologia das estruturas em gridshells, recomendações geométricas, assim como os detalhes técnicos referentes aos tipos de ligações e nós. Para esta finalidade foram analisados diferentes sistemas de projeto e execução desse sistema construtivo. Concluiu-se que esse sistema estrutural apresenta viabilidade técnica e econômica para a construção de coberturas para médios e grandes vãos, assim como a possibilidade de execução de formas complexas de forma relativamente fácil, e que o seu uso em larga escala é raro pela falta de conhecimento de suas vantagens e pela complexidade na fase de projeto, fazendo com que outros métodos mais convencionais sejam adotados.

Palavras-chave: Estruturas. Gridshell. Estruturas em madeira.

1 INTRODUÇÃO

O benefício de gridshells em madeira torna-se aparente em fase de construção. Formas complexas podem ser conseguidas facilmente (HARRIS; KELLY, 2002). Isto é conseguido pelo uso de uma malha de ripas de madeira contínuas em duas

direções. Depois de conectar as ripas nas interseções usando um pino de ligação, a grade pode ser deformada por dobragem as ripas e deformando a quadrangles do labirinto em formas rômbricas. Se a forma desejada é alcançada, as ripas são fixadas nas bordas e os nós são apertados. Para uma maior facilidade na execução, este método

apenas pode ser usado com um material leve, que possa ser dobrado sem demasiado esforço e tem capacidade suficiente para resistir às cargas após a construção. Aqui, as propriedades da madeira são aproveitadas, como a madeira é um material leve e pode ser dobrado facilmente e possui resistência suficiente para resistir a cargas e momentos de flexão. Neste trabalho, pretende-se apresentar o funcionamento desse sistema construtivo, assim como os métodos de execução, e então a verificar a viabilidade técnica do mesmo ao analisar um projeto executado com essa estrutura.

2 DEFINIÇÃO

O sistema estrutural gridshell baseia-se na utilização de ripas contínuas que são fixadas em suas intersecções. A partir de uma esteira plana inicial de ripas, a estrutura é formada flexionando-se as ripas e deformando a malha para a obtenção de superfícies curvas (Figura 1). Após a forma desejada ser obtida, os nós são apertados e a estrutura é endurecida por órtese diagonal. Este método de construção cria um sistema estrutural bastante complexo de ripas curvadas trabalhando em conjunto para resistir às cargas.

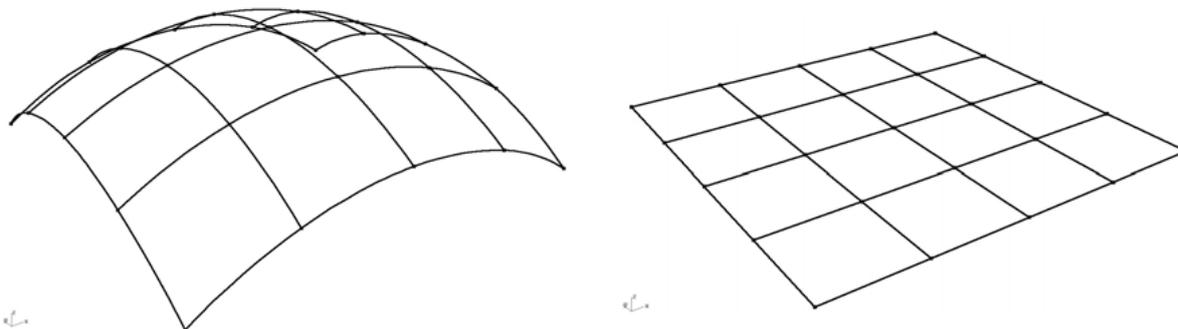


Figura 1: Uma malha plana de barras é deformada formando uma estrutura esférica pelo içamento do centro, causando um encurvamento das barras.

Fonte: TOUSSAINT, MATTHIJS

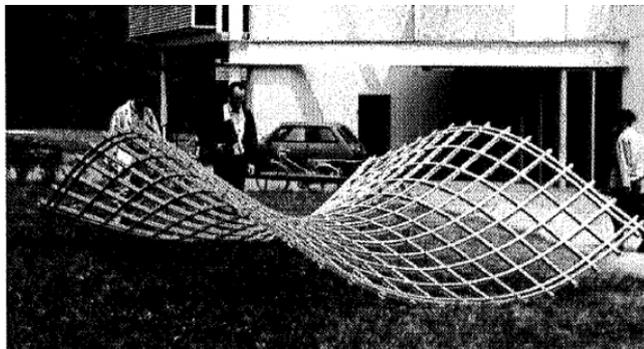
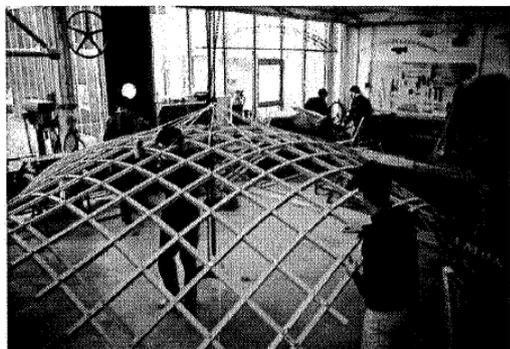


Figura 2: Cúpula e parabolóide hiperbólico formados pela mesma malha de barras, diferenciando-se pela forma de içamento. Para a cúpula a malha foi içada pelo centro e o parabolóide hiperbólico foi içado para cima pelo centro de duas laterais enquanto as laterais perpendiculares foram puxadas para baixo.

Trabalho de estudantes na disciplina de Morfologia da *École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes*

Fonte: CHASSAGNOUX, ALAIN

3 FUNCIONAMENTO DA ESTRUTURA

A definição “gridshell” sugere que esse sistema é na verdade uma malha (shell). Mas esse sistema estrutural apresenta um comportamento diferente. Numa malha contínua, uma carga distribuída resulta em esforços de compressão e de cisalhamento. Isso cria um sistema rígido em que cada elemento dessa superfície contínua é blo-

queado pelos esforços internos e os transfere aos elementos vizinhos.

No caso de um gridshell, seu comportamento faz com que todas as cargas sejam transferidas para as bordas externas. O resultado é um sistema em que quatro barras unidas pelos nós, que podem somente transmitir forças na direção das mesmas. Um esforço normal num elemento de uma malha contínua é transferido para as bordas também, resultando em forças normais nas barras.

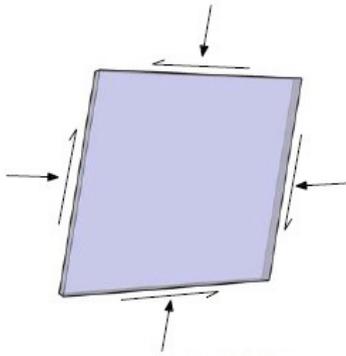


Figura 3: Elementos de malha contínua e gridshell

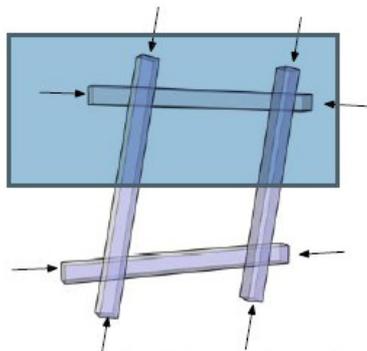


Figura 4: Elementos de gridshell com força normal

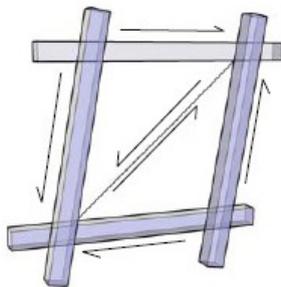


Figura 5: Elementos de gridshell com amarração diagonal

Uma estrutura em gridshell pode ser visto como uma série de arcos paralelos esbeltos, que trabalham juntos para resistir às cargas aplicadas. Ao vincular as ripas diagonalmente, a rigidez é introduzida em diagonal ao gridshell e as forças de cisalhamento podem ser transmitidos para a borda da estrutura. Assim as ripas trabalham em conjunto e o gridshell funcionará como uma malha contínua. A rigidez diagonal pode ser fornecida em várias formas:

- ◆ juntas rígidas
- ◆ laços em forma de cruz
- ◆ travamentos rígidos
- ◆ Uma camada contínua servindo de cobertura

A triangulação do grid, seja aplicando travessas ou contraventamentos é realizada facilmente. Ao aplicar contraventamentos rígidos, o comportamento estrutural da grade será comparável ao de com uma malha contínua. É também possível criar rigidez diagonal através da aplicação de uma camada contínua na parte superior das ripas da estrutura. Isto proporcionaria rigidez estrutural e serviria como cobertura da estrutura ao mesmo tempo (BURKHARDT et al., 1978).

A rigidez diagonal provocada pelo uso de juntas rígidas é mais difícil de executar. As conexões rígidas transferem as forças de cisalhamento através do momento fletor para os suportes. Isto pode ser conseguido tanto com conectores quanto com colagem das juntas. Conectores de madeira, tais como fechos tipo passador ou placas do conector têm sempre uma certa capacidade de rotação que diminui o momento resistência e, portanto, a rigidez da estrutura. Nesse caso, a colagem pode garantir uma boa ligação, mas complica o processo de construção já que a colagem exige condições otimizadas de temperatura e umidade para garantir a qualidade da união.

4 JUNTAS

4.1 JUNTA DE NÓ COM ENCAIXE PELA PARTE EXTERNA

Para a ligação entre as ripas um conector especial foi concebido. É composto por três placas, conectados com quatro parafusos (Figura 3). A placa do meio tem um pino no centro, mantendo a conexão no lugar. As camadas exteriores podem deslizar livremente na sua direção durante moldagem da estrutura. Dois dos quatro parafusos podem ser usados para fixar a diagonalização. O conector provou ser muito eficiente e foi patentado.



Figura 6: Encaixe de nó com fixação pela parte externa.

4.2 JUNTA DE NÓ COM PARAFUSO INTERNO

As ripas são aparafusadas nos nós. Para permitir o deslizamento das camadas exteriores durante o içamento, estas camadas têm furos ranhurados. Após montagem, é necessária resistência ao corte, de modo que o parafusos são apertados para fornecer atrito suficiente. Os testes indicaram que a tensão nos parafusos iria diminuir com o tempo, devido ao encolhimento da madeira. Para evitar isso, arruelas de pressão são aplicadas.

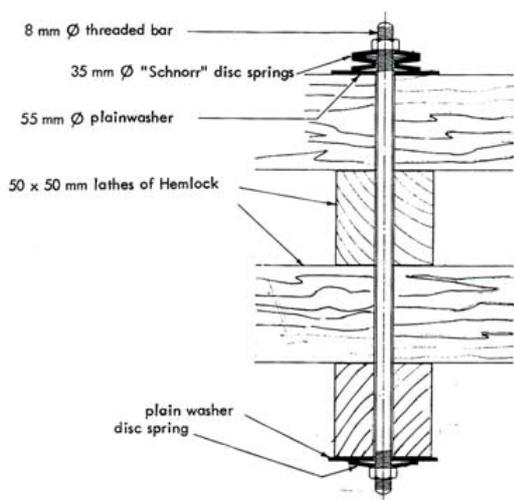


Figura 7: Esquema de junta de nó com parafuso interno



Figura 8: junta de nó com parafuso interno.

5 CONEXÃO NAS BORDAS – PROJETO EXEMPLO: WEALD & DOWNLAND

As bordas da gridshell estão ligados ao chão da estrutura. As ripas são aparafusadas entre duas camadas de madeira compensada e ligado ao piso ou vigas. Os pisos e vigas são cortadas em forma e a primeira camada de contraplacado liga-se às vigas com engates antes do içamento da estrutura. São feitos furos na estrutura que ficam alinhados com os furos nos suportes. Após a malha ser

baixada, os blocos são instalados neste local para firmar o “sanduíche” da estrutura aos suportes no interior. Também os espaços entre as camadas são preenchido com madeira, onde a malha se sobrepõe ao embarque para criar uma seção sólida com quatro vezes a espessura de uma ripa. A segunda camada de compensado está ligado e as ripas de madeira e contraplacado camadas são aparafusados. Todo o ‘sanduíche’ é parafusado nos suportes no interior para criar uma conexão rígida na borda.



Figura 9: Piso é moldado no formato que a parte de baixo da estrutura deve adquirir quando montada



Figura 10: Colocação dos suportes



Figura 11: Detalhe da borda



Figura 12: Conexão de borda pronta



Figura 13: Malha plana de barras

6 EXEMPLO DE MONTAGEM DE UMA ESTRUTURA GRIDSHELL – PROJETO WEALD & DOWNLAND

Em vez de empurrar ou levantar a grade contra a gravidade, o Weald e Downland gridshell foi reduzido na posição. A grade fixa de ripas foi colocado para fora em um sistema de andaimes especial ao nível dos “vales” da forma. Este sistema de andaimes utilizado possui conectores ajustáveis para alterar a altura para formar a forma da gridshell.

A malha foi posicionada a uma altura de 7,00 m. Tal como se concluiu com as experiências de física modelagem, a malha não foi instalada com ângulo de 90° entre as ripas, mas com ângulos de 96° e 84°, assim a malha resultante foi de 47x25m (KELLY et al., 2001). O processo de diminuir a malha foi cuidadosamente monitorado visualmente e com as informações fornecidas pelo sistema de tomadas de andaimes. A linha central longitudinal foi utilizada como uma linha de referência, já que esta linha não seria movida transversalmente. Os nós nesta linha foram pintados de branco, para facilitar a verificação visual se os nós mantinham-se em linha reta. A tesoura e de deslizamento das ripas foi influenciada com correias em plano da grade. Por tensionamento das correias na direção desejada, a tesoura foi estimulada. E as cintas de arranjo foram monitoradas continuamente.



Figura 14: Início do rebaixamento das bordas

Após a montagem concluída, a silhueta parecia estar como desejada. Porém, as cúpulas pareciam estar muito baixas. Além disso, os nódulos de perímetro em torno das cúpulas ficaram 300 mm abaixo do esperado. Ajustes foram feitos empurrando para cima os nós de perímetro usando pequenos macacos. O processo de formação foi muito bem sucedido. A observação era a chave do controle do processo de formação. Problemas potenciais poderiam ser isolados e tratados continuamente observando-se o comportamento da estrutura.



Figura 15: Ajuste da altura nas escoras



Figura 16: Escoras inclinadas



Figura 17: Moldagem em fase terminal



Figura 18: Estrutura pronta

projeto. Outra possível razão pode ser que as dificuldades são encontradas na formação da formato curvo duplo a partir de um tapete liso inicial de ripas. Se as possibilidades e vantagens de um gridshell são desconhecidas, uma estrutura mais convencional é escolhida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHASSAGNOUX, Alain. *Structures Spatiales: les cupoles réticulées*. École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes. Nantes, França, p. 19-32, 2011.
- CHASSAGNOUX, Alain. *Géométrie constructive*. École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes. Nantes, França, p. 45-64, 2012.
- EMMERICH, David Georges. *Soft Architecture – Essais sur l'autoconstruction*. Institut de l'environnement, Paris, 1974. p. 12-16.
- GREY, Aaron. *Gridshell fabrication: parametric analysis*. Disponível em <<http://www.aaron-grey.com/archives/560>>. Acesso em: 31 nov. 2014.
- TOUSSAINT, Matthijs. *A design tool for timber gridshells*. Delft University of Technology, 2007. p. 35-55
- JOHNSON, Steve; CULLINAN OF, Edward. *Gridshells and the Construction Process*. Disponível em: <<http://www.wealddown.co.uk/explore/buildings/further-reading/gridshells-construction-process/?building=301>>. Acesso em: 27 nov. 2014.

7 CONCLUSÃO

Com o uso de tecnologias modernas, o gridshell tornou-se um tipo eficiente e ambientalmente sustentável de estrutura. Apesar disso, parece haver uma certa relutância em usá-lo com mais frequência.

Uma possível razão pode ser que o processo de design é considerado complicado. Os gridshells que já foram construídos foram projetados com base em experiência e com demorado processo de

Using Gridshell structural system on creation of complex forms in wooden structures

ABSTRACT

In recent decades, along the increased interest in creating free-form shapes in architectural design, it also increased the interest in wooden structures generated as a gridshell, a type of three-dimensional network structure formed by bar elements called lamellae, which make up a mesh lozenge, enabling the creation of complex curved shapes (elliptical, hyperbolic or cylindrical). Besides the pursuit of aesthetics through the generation of complex forms, interest in such structures is also due to the excellent structural performance of the system, because the main active force is compression. With the efforts acting in a distributed manner, the sections of the bars are constant throughout the length of the bars, facilitating the manufacture of such parts. These characteristics make this structural system, a choice of sustainable architecture for the average cover the large spans in buildings such as warehouses, gyms, stations or airports. This work aims to present the morphology of structures gridshells, geometric recommendations, as well as technical details regarding the types of links and nodes. For this purpose it was analyzed different design systems and execution of this construction system. It was concluded that this structural system presents technical and economic feasibility of the construction of medium for roofing and large spans, as well as the possibility of implementing complex forms relatively easily, and that the use of it on a large scale is often lack of knowledge of its advantages and complexity in the design phase, causing more conventional methods be adopted.

Keywords: Structures. Gridshell. Wooden structures.