

3 Aplicações e aspectos formais do *tensegrity*

3.1.

Aspectos e tipos formais

A respeito dos “**Aspectos Gerais**” é necessário retomar algumas explicações abordadas na introdução que serão importantes para o entendimento do *tensegrity*.

A primeira delas se refere à nomenclatura, que foi relatada por Kenneth Snelson em sua biografia *Arts and Ideas* de 2013. O termo foi historicamente criado por Buckminster Fuller pouco tempo após observar sua obra *Early X-Piece* de 1948. Este trabalho foi um exemplo rudimentar de um princípio para o qual Fuller mais tarde cunhou a palavra “*tensegrity*”, uma combinação das palavras *tension* e *integrity*, para denominar estruturas físicas montadas por hastes rígidas que não se tocam e são mantidas em seus lugares por cabos tracionados.

Outra questão é conceitual a respeito da utilização do *tensegrity* em produtos com finalidade social e comercial, mas que são amplamente difundidas entre artistas plásticos. A título de ilustração, em contato



Figura 55 - Early X-Piece, 1948 - Snelson



Figura 56 – Escultura
Tensegrity – Snelson - detalhe

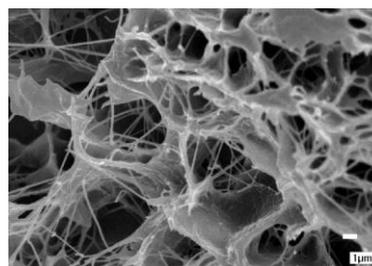


Figura 57 - Estrutura molecular

pessoal com o design norte americano Kenneth Snelson, o professor Ripper em 2003, o indagou a cerca das aplicações de uso da estrutura e obteve como resposta que essas estruturas não se prestavam para aplicações em produtos úteis, mas apenas para as artes plásticas.

O *tensegrity* está inserido no ramo da biônica que desenvolve estruturas tensionadas de diversos modelos formais que simulam as estruturas moleculares e foi primordialmente estudado pelo engenheiro, arquiteto e designer Richard Buckminster Fuller na década 1920. Mas uma de suas maiores contribuições está na arquitetura com a invenção da cúpula geodésica, um sistema de geometria complexa que permite construir espaços de grandes dimensões sem obstáculos de colunas e estruturas verticais de apoio. Sua primeira aplicação foi na construção do pavilhão americano para uma exposição em Montreal no Canadá em 1967. Fuller também desenvolveu um modelo *tensegrity* esférico que serviu de ponto de partida para estudos futuros, se tornando a principal referência nessa área.

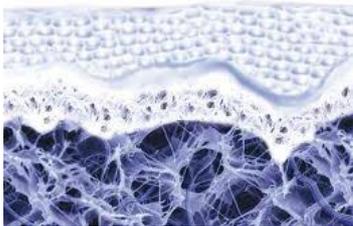


Figura 58 - Estrutura molecular epitelial



Figura 59 - Cúpula geodésica, 1967 - Fuller

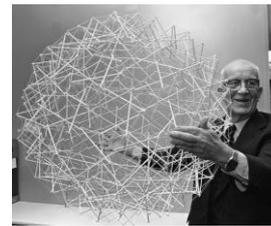


Figura 60 - *Tensegrity* esférico, 1927 - Fuller



Figura 61 - Teto Estaiado do Estádio Olímpico de Munique - Frei Otto e Gunther Behnisch



Figura 62 - Ponte Estaiada Transcarioca - Rio de Janeiro

A respeito dos “**Tipos Formais**”, vale ressaltar que para Snelson o *tensegrity* não é qualquer estrutura ou objeto tensionado por cabos. A peculiaridade desse sistema de forças está na composição das hastes ou das partes rígidas que não se tocam, mas interagem entre si e tendo sua unidade estrutural mantida por cabos tensionados. Sendo assim, excluem-se todas as estruturas fixas e rígidas como as utilizadas em toldos de

estádios e as pontes estaiadas, por exemplo. Nessas estruturas rígidas as partes se apoiam umas nas outras e por estarem unidas não produzem o efeito de mola estrutural, principal característica das estruturas *tensegrity*, mesmo utilizando cabos tensionados. Segundo Snelson existem algumas matrizes básicas de formas do sistema que ele chama de células básicas, conforme figura abaixo.

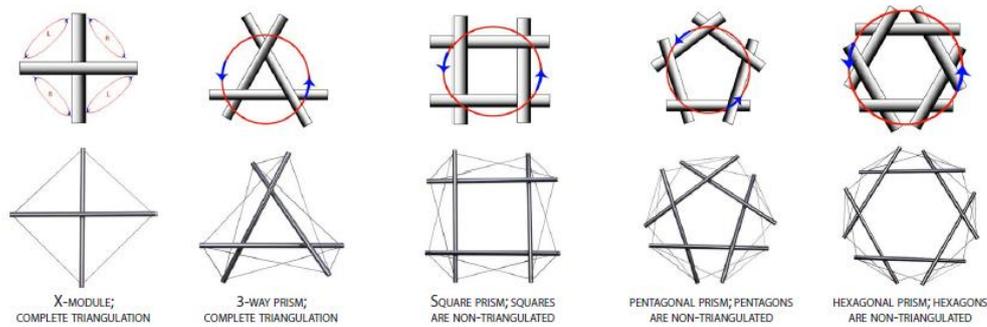


Figura 63 – Combinações de células *tensegrity* – Snelson

A partir dessas matrizes básicas é possível realizar diferentes combinações aumentando o número de possibilidades em inúmeras formas, conforme figura abaixo.

As combinações podem partir de bases triangulares ou quadriláteras e serem multiplicadas e combinadas se transformando e ganhando novas formas. Podem ser combinadas com outras matrizes em sentidos e direções variados gerando um enorme e complexo sistema. Na figura abaixo vemos o processo de construção partindo de uma base triangular gerando um tetraedro e octaedro.

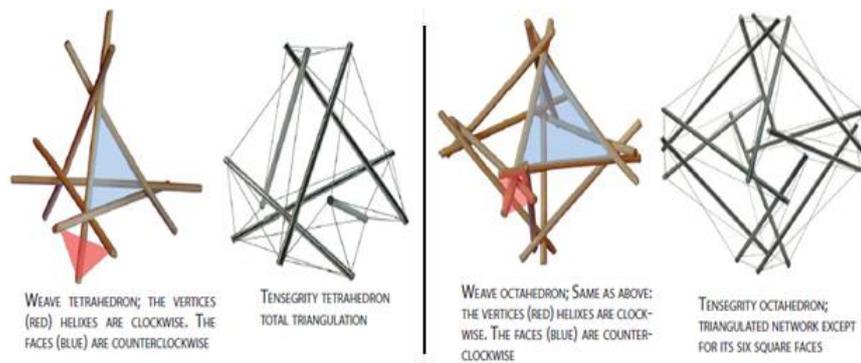
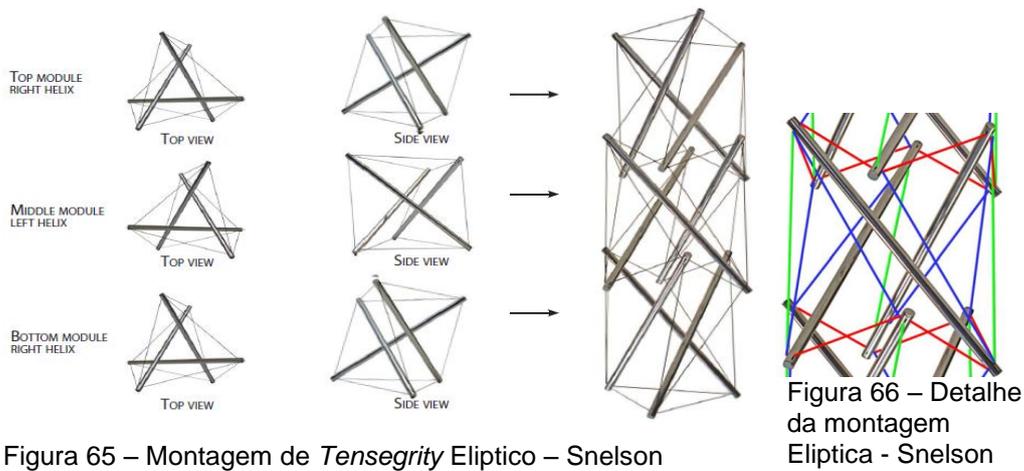


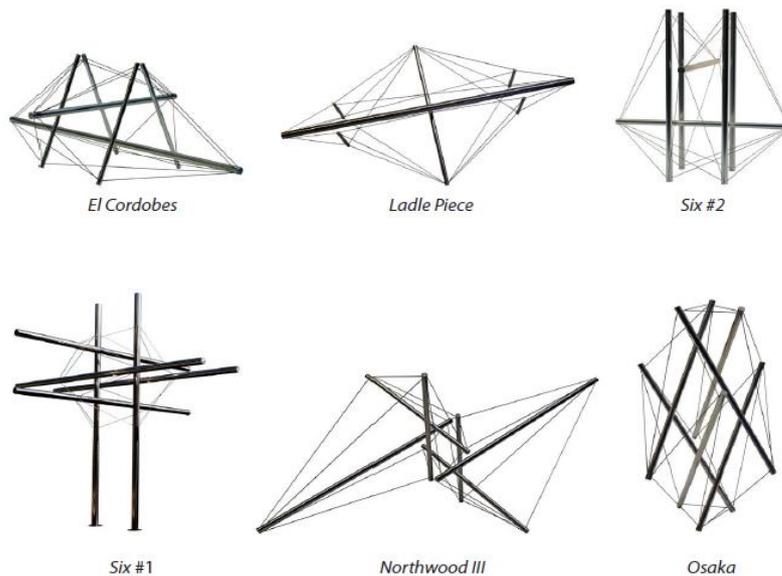
Figura 64 – Combinações de base triangular – Snelson

Partindo-se de um módulo ou célula é possível realizar diversos arranjos. Snelson criou um sistema espiralado pela rotação dos módulos

no seu empilhamento. Esse processo também facilita o encaixe e dá uma unidade de forças diferente de uma construção linear.



Abaixo algumas formas diferenciadas partindo de módulos básicos e híbridos de *tensegrity*.



These sculptures are composed of six struts

Figura 67 – Formas diferenciadas de *Tensegrity* - Snelson

Uma característica importante do aspecto formal do *tensegrity*, por ter um sistema fechado de forças, é ser classificado em “modelos” e assim possuir formas definidas podendo ser orgânicas ou geométricas como esferas e domos geodésicos. A criação de um *tensegrity* segue algumas regras. O importante é que ele mantenha o conceito básico de sua estrutura não rígida (maleável) para gerar um sistema que equilibre as forças atuantes.

Essa característica de ser flexível foi fundamental para iniciativa de se utilizar uma estrutura *tensegrity* numa cadeira de rodas. A capacidade mecânica de uma estrutura *tensegrity* é notória, bem como, o custo benefício e peso, mas ela pode ser fundamental para o bem estar do usuário de cadeira de rodas. E é sobre esse aspecto que foi fundamentada uma das hipóteses e objetivos da pesquisa. A flexibilidade não pode ser confundida com perda da forma estrutural, muito pelo contrário, a característica do *tensegrity* é sempre retornar a sua forma inicial após sofrer alguma deformação. Trata-se de um sistema perfeitamente elástico.

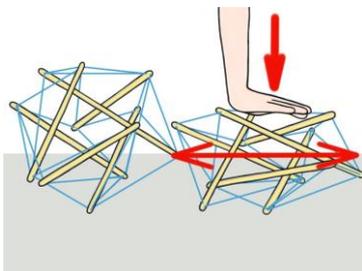


Figura 68 – Demonstração da maleabilidade do modelo *tensegrity* esférico - Snelson



Figura 69 - Escultura *tensegrity* maleável - Snelson

Conforme mencionado, o *tensegrity* é apresentado formalmente em células, e foi uma dessas células que foi utilizada nessa pesquisa. Prof. Ripper na década de 1970 estudava essas estruturas e se baseou numa bem simples, mas que para ele possuía enorme capacidade mecânica e funcional. A forma básica era da pipa meteorológica, cujo formato é similar à pipa feita para criança onde a diferença básica residia na resistência dos materiais empregados e no seu dimensionamento.

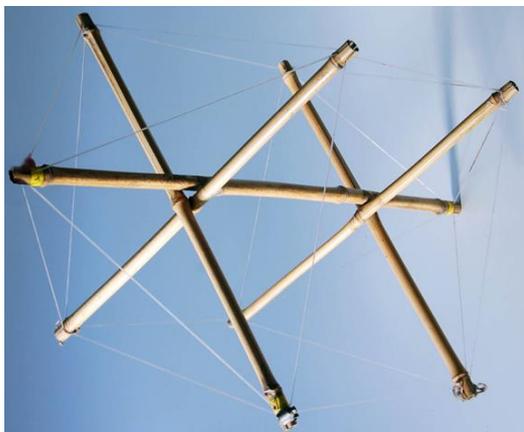


Figura 71 - Modelo *tensegrity* Ripper /LILD

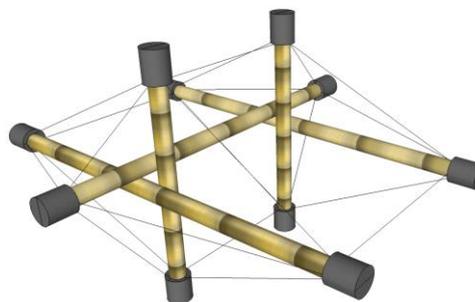


Figura 70 - Modelo *tensegrity* Ripper /LILD adaptado para a Cadeira de Rodas Tensegrity - do Autor

O processo de desenvolvimento do modelo *tensegrity* utilizado na pesquisa está detalhado no capítulo 4 – “Concepção da Cadeira de Rodas *Tensegrity* e escolha de materiais”.

A característica dessa estrutura é ser extremamente eficiente na distribuição das forças por não centralizá-las em nenhum dos componentes do sistema que poderiam causar ruptura de cabos ou quebra das hastes rígidas. E como consequência, as forças da estrutura *tensegrity* são sempre distribuídas pelos cabos e compartilhadas por todo sistema, igualmente, evitando que estas se concentrem totalmente num ponto específico, que poderia conduzir à ruptura dos cabos e colapso da estrutura. Uma propriedade presente nas estruturas *tensegrity* é que seus componentes usam a tração e a compressão de forma combinada, o que proporciona estabilidade e resistência garantindo sua integridade física. No modelo usado nessa pesquisa os bambus comprimidos são distanciadores garantindo que as partes mantenham sempre a distância constante.

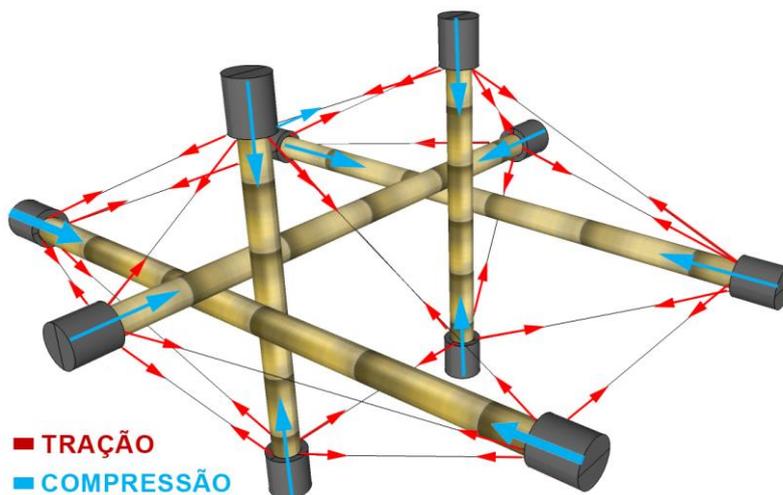


Figura 72 – Forças no modelo *tensegrity*

Os bambus ficam aprisionados pelos cabos de aço tracionados e pelas disposições geométricas criadas. Aqui é importante ressaltar a capacidade elástica que essa estrutura tem bem como os modelos *tensegrity* em geral, ou seja, de retornar à forma ou posição original após serem cessadas as forças sobre ela.

Segundo Fuller (1975) esses sistemas trabalham sobre a luz de uma sinergia onde seu comportamento não é ditado por nenhum de seus componentes separadamente, mas pela soma e cooperação, na divergência e convergência das partes para um mesmo fim. Na Sinergia o valor do conjunto dos componentes do todo é superior ao valor de cada

parte individualmente. Levin (1982) cita que no *tensegrity* os descarregamentos e transmissão das cargas, para qualquer ponto em que forem aplicadas, são uniformemente distribuídos entre todos os membros e partes da estrutura. Suas características mecânicas e seu estado de equilíbrio geométrico vão depender de sua estrutura relacional com os elementos e o modo de seu agrupamento e montagem. O *tensegrity* é visto como um importante campo da engenharia estrutural a ser desenvolvido, por ser um sistema completo, que possui qualidades que estão em sintonia com as necessidades atuais, numa conjuntura social onde o desperdício e a agressão ao meio ambiente não é mais tolerado e onde são buscadas soluções inteligentes para os problemas. O uso deste sistema pode influenciar, como um todo, na eficiência do tempo de construção e no planejamento, controle e administração do projeto de produção em geral. Pode ser aplicado como um sistema modular, podendo ser produzindo em serie com grande potencial de eficiência produtiva pela facilidade de construção.

A sinergia atribuída por Fuller a todo *tensegrity* e as geometrias geodésicas pode ser encontrada na natureza que a emprega para maximização das estruturas naturais para obter a máxima resistência e proteção. Ainda segundo Fuller os globos oculares, testículos e certos animais vertebrados mostram padrão geodésico e, pequenos protozoários unicelulares são geodésicos para resistir a enormes pressões abissais no fundo do mar ou da terra, bem como os vírus.

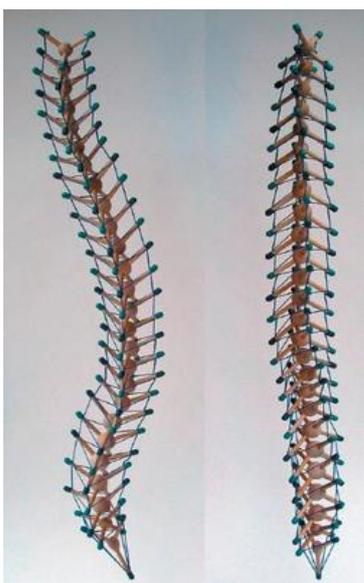


Figura 73 - Modelo *tensegrity* tetraedro simulando a curvatura de uma coluna sinteticamente combinada - Levin

Temos como bom exemplo, versando no mesmo viés abordado em questão por Fuller, a tese de doutorado de Georgia Victor pela PUC-Rio em 2008 onde o *tensegrity* pode ser encontrado no corpo humano. Nada mais provável porque o esse sistema foi desenvolvido se baseando exatamente nas estruturas naturais e humanas que são formadas e relacionadas por estruturas tensegrity.



Figura 75 - Detalhe Coluna vertebral tensegrity - Doutorado Geórgia Victor PUC-Rio 2008



Figura 74 - Coluna vertebral em tensegrity - Doutorado Geórgia Victor PUC-Rio 2008

Completando Fuller, para Baldwin (1996) a compressão é simetricamente tetraedral. Ele explica que com seis bastões idênticos se constrói dois triângulos que organizados sinergicamente forma um tetraedro. Assim, um triângulo mais outro triângulo seria igual a quatro triângulos. No caso, $1+1=2$, mas com aplicação sinérgica seria $1+1=4$. Isso pode ser comprovado se considerarmos que com dois triângulos é possível formar um tetraedro. Para que isso ocorra deslocamos um dos bastões de cada triângulo no mesmo plano a 60° e juntamos os dois triângulos obtendo-se um tetraedro, conforme figura abaixo.

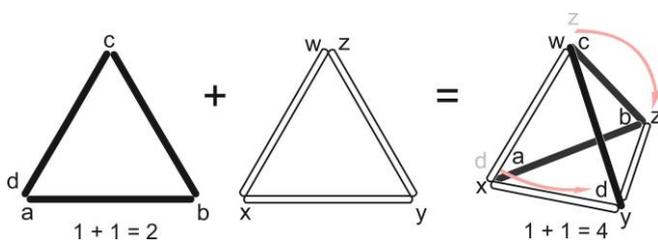


Figura 76 – Tetraedro formado por dois triângulos - Baldwin

Dessa forma, com a combinação dos dois triângulos em sistemas planos é possível montar um novo sistema estrutural espacial.

Esse processo foi o mesmo utilizado pelo prof. Ripper para desenvolver seu modelo. Partindo de uma pipa achatada em apenas um plano, duas

dimensões, o modelo tridimensional que é base principal dessa pesquisa. Esse processo de obtenção do modelo será mais amplamente estudado no capítulo 4.

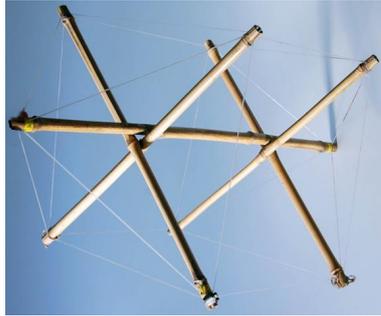


Figura 77 - Modelo *tensegrity* - Ripper / LILD

Não há como comparar a eficiência dessas estruturas como estruturas convencionais de concreto ou metal, pois cada estrutura têm suas vantagens e desvantagens, assim como também os materiais. Uma parede de concreto ou mesmo um domo de concreto se auto sustenta pela compressão de cada material adicionado aliado a forma de sua estrutura.

Fuller e, mais recente Snelson, passaram bastante tempo em suas pesquisas para criar um padrão que pudesse decifrar como o *tensegrity* se comporta ou compará-lo a estruturas mais tradicionais, aparente sem uma solução concreta. Contudo, em todas as suas criações Snelson desenvolve uma série de cálculos e relações para melhor dimensionar a estrutura. Abaixo o esboço do processo construtivo da obra Vortex III.

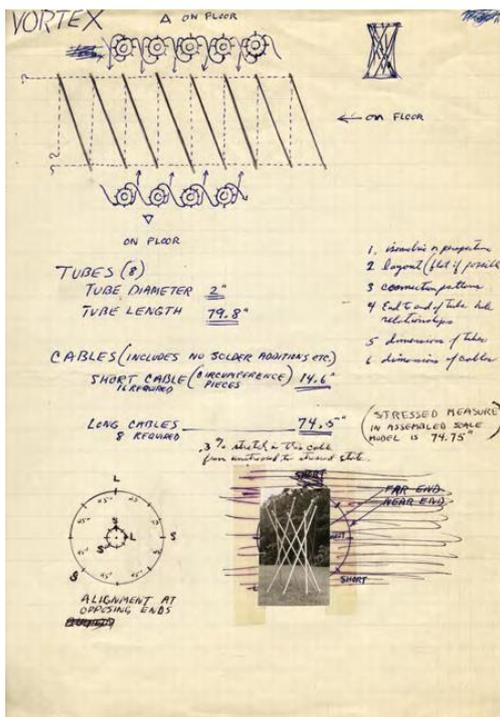


Figura 79 - Esboço Vortex III Snelson



Figura 78 – Vortex III Snelson

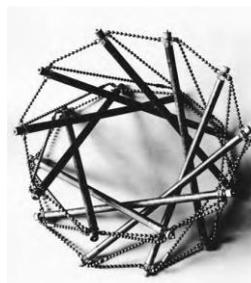


Figura 80 – Detalhe Vortex III Snelson

Snelson também patenteou algumas formas básicas de *tensegrity* nos Estados Unidos. A mais significativa delas é a tetraédrica que até hoje é uma das mais utilizadas para desenvolvimento de sistemas mais complexos. Essas iniciativas servem para garantir ao detentor da patente sua utilização e aplicação e que por outro lado podem desestimular outros pesquisadores e frear o progresso dentro do ramo. Contudo, Snelson explica que a patente é a forma que os pesquisadores têm para documentar o resultado de suas pesquisas e seu interesse não é dificultar o acesso a informação, mas sim, difundi-la.

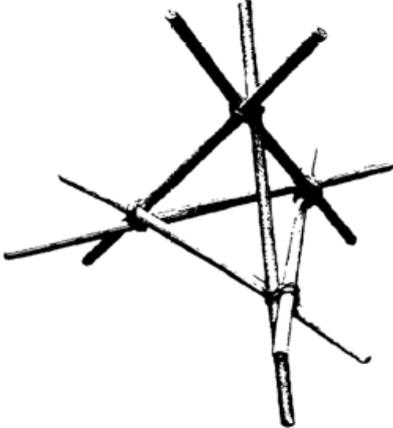
 US006739937B2																																																							
(12) United States Patent Snelson	(10) Patent No.: US 6,739,937 B2 (45) Date of Patent: May 25, 2004																																																						
<hr/>																																																							
(54) SPACE FRAME STRUCTURE MADE BY 3-D WEAVING OF ROD MEMBERS (76) Inventor: Kenneth D. Snelson , 37 W. 12th St., Apt. 12J, New York, NY (US) 10011 (*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 32 days.	<table border="0"> <tr> <td>3,546,049 A</td> <td>*</td> <td>12/1970</td> <td>Kostich</td> <td>.....</td> <td>52/650.2</td> </tr> <tr> <td>3,796,004 A</td> <td>*</td> <td>3/1974</td> <td>Auerbach</td> <td>.....</td> <td>4-6/107</td> </tr> <tr> <td>3,830,011 A</td> <td></td> <td>8/1974</td> <td>Ochrymowich</td> <td>.....</td> <td>4-6/126</td> </tr> <tr> <td>3,998,003 A</td> <td></td> <td>12/1976</td> <td>Rosenaum</td> <td>.....</td> <td>446/119</td> </tr> <tr> <td>4,069,832 A</td> <td></td> <td>1/1978</td> <td>Bingham</td> <td>.....</td> <td>135/3 R</td> </tr> <tr> <td>4,259,790 A</td> <td></td> <td>4/1981</td> <td>Borisoif</td> <td>.....</td> <td>634/81</td> </tr> <tr> <td>4,309,851 A</td> <td></td> <td>1/1982</td> <td>Flagg</td> <td>.....</td> <td>52/2</td> </tr> <tr> <td>5,430,989 A</td> <td></td> <td>7/1995</td> <td>Jones</td> <td>.....</td> <td>4-6/122</td> </tr> <tr> <td>5,785,529 A</td> <td></td> <td>7/1998</td> <td>Hearn et al.</td> <td>.....</td> <td>434/211</td> </tr> </table> <p>* cited by examiner</p> <p><i>Primary Examiner</i>—Jacob K. Ackun, Jr. (74) <i>Attorney, Agent, or Firm</i>—Winston & Strawn LLP</p>	3,546,049 A	*	12/1970	Kostich	52/650.2	3,796,004 A	*	3/1974	Auerbach	4-6/107	3,830,011 A		8/1974	Ochrymowich	4-6/126	3,998,003 A		12/1976	Rosenaum	446/119	4,069,832 A		1/1978	Bingham	135/3 R	4,259,790 A		4/1981	Borisoif	634/81	4,309,851 A		1/1982	Flagg	52/2	5,430,989 A		7/1995	Jones	4-6/122	5,785,529 A		7/1998	Hearn et al.	434/211
3,546,049 A	*	12/1970	Kostich	52/650.2																																																		
3,796,004 A	*	3/1974	Auerbach	4-6/107																																																		
3,830,011 A		8/1974	Ochrymowich	4-6/126																																																		
3,998,003 A		12/1976	Rosenaum	446/119																																																		
4,069,832 A		1/1978	Bingham	135/3 R																																																		
4,259,790 A		4/1981	Borisoif	634/81																																																		
4,309,851 A		1/1982	Flagg	52/2																																																		
5,430,989 A		7/1995	Jones	4-6/122																																																		
5,785,529 A		7/1998	Hearn et al.	434/211																																																		
(21) Appl. No.: 10/133,259 (22) Filed: Apr. 24, 2002 (65) Prior Publication Data US 2002/0123293 A1 Sep. 5, 2002 Related U.S. Application Data (63) Continuation-in-part of application No. 09/745,355, filed on Dec. 21, 2000, now abandoned. (51) Int. Cl. ⁷ A63H 33/10 (52) U.S. Cl. 446/107 ; 446/119 (58) Field of Search 446/85, 87, 106, 446/107, 111, 116, 119, 105, 108, 120, 122, 476, 478 (56) References Cited U.S. PATENT DOCUMENTS 3,422,565 A 1/1969 Kentfield 446/102	(57) ABSTRACT <p>The invention relates to a toy construction kit comprising a plurality of elongated rod members of different lengths; and a plurality of joining members. Each joining member is configured and dimensioned to be capable of connecting at least three rod members together around a common vertex point in a weave pattern such that the rods do not pass through the vertex point but are oriented about it in a clockwise or counter-clockwise arrangement. At least some and preferably all rod members are formed with a zig-zag configuration to avoid bending the rod members at vertex points. After making a structure by weaving the rod members and temporarily or permanently connecting them with the joining members, unique and original space frames are obtained. These objects form another embodiment of the invention.</p>																																																						
	19 Claims, 4 Drawing Sheets																																																						
																																																							

Figura 81 – Patente *tensegrity* - Snelson

3.2.

Aplicações do *tensegrity*

O *tensegrity* ganhou notoriedade nas artes plásticas pelas mãos de Snelson que sempre considerou suas obras como esculturas e as classificou dentro das artes plásticas. Podemos considerar sua formação artística o fator principal para essa classificação, porém analisando as obras de Snelson poderíamos utilizar muitas delas para desenvolver modelos de *tensegrity* e também estruturas arquitetônicas como as realizadas por Frei Otto, que serão descritas no item 3.3 desse capítulo. Snelson possui algumas obras já mencionadas no item 3.1 desse capítulo e a partir de agora serão divididas por tamanhos e ambientes de exposição, conforme o próprio Snelson assim as apresenta em seu portfolio. Iniciando primeiro as esculturas pequenas que são apropriadas para ambientes fechados e classificadas como peças de design de interiores. Possuem no máximo de um metro e vinte centímetros de altura, mas a maioria delas possui cinquenta centímetros aproximadamente. As esculturas mais importantes são:

Escultura X-tend de 1967 em alumínio e aço com tamanho de 8.3 x 15 x 51 cm.

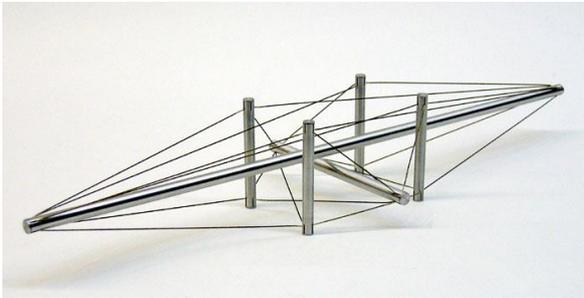


Figura 83 - Escultura X-Tend - Snelson

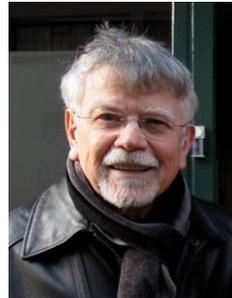


Figura 82 - Kenneth Snelson

Escultura Eight Up de 1970 em alumínio e aço com tamanho de 19 x 34 x 34 cm.

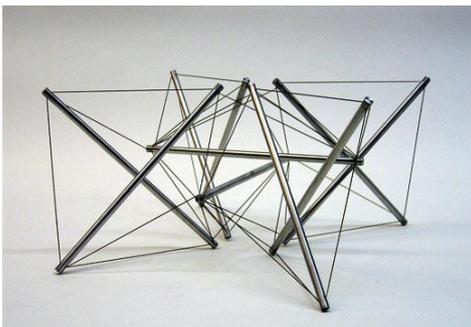


Figura 84 - Escultura Eight Up - Snelson

Escultura Easy-k de 1970 em alumínio e aço inoxidável com tamanho de 25 x 25 x 147 cm.



Figura 85 - Escultura Eight Up - Snelson

Escultura Flat out de 1979 em alumínio e aço inoxidável com tamanho de 40 x 51 x 147 cm.

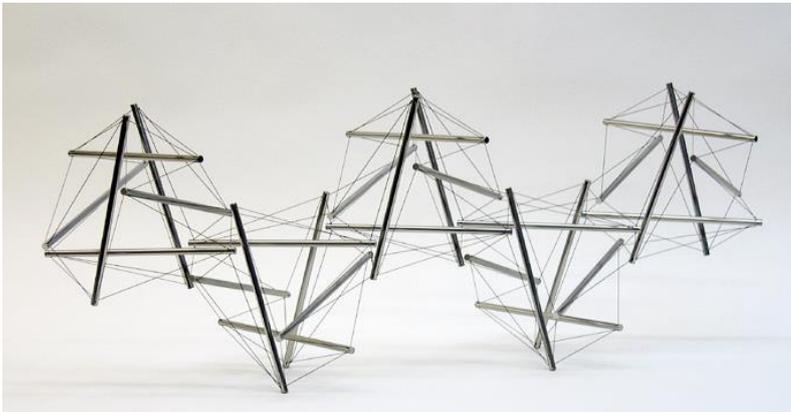


Figura 86 - Escultura QuinTet Row – Snelson

Outra categoria de esculturas são aquelas para ambiente externo com tamanhos de três metros de altura em média. As principais são:

Escultura V-X de 1968 em aço inoxidável com tamanho de 3 x 4.3 x 4.3 m está exposta no Museu de Arte Columbus em Columbus, Ohio - EUA.

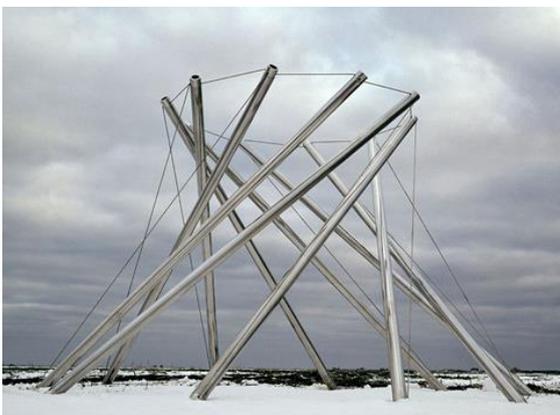


Figura 87 - Escultura V-X – Snelson

Escultura Easy Landing de 1977 em aço inoxidável com tamanho de 10 x 25 x 20 m está exposta no Museu de Arte do Instituto Carnegie em Pittsburgh, Pensilvânia - EUA



Figura 88 - Escultura Easy Landing – Snelson

A última categoria são as torres que variam entre quatorze e trinta metros de altura. As principais são:

Torre E.C. Column de 1969 em alumínio e aço inoxidável com tamanho de 14 x 4 x 4 m foi exposta na Galeria de Arte Albright-Knox em Buffalo, NY - EUA

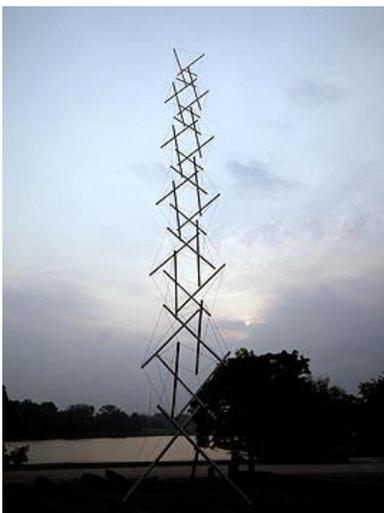


Figura 90 - Torre EC Column – Snelson

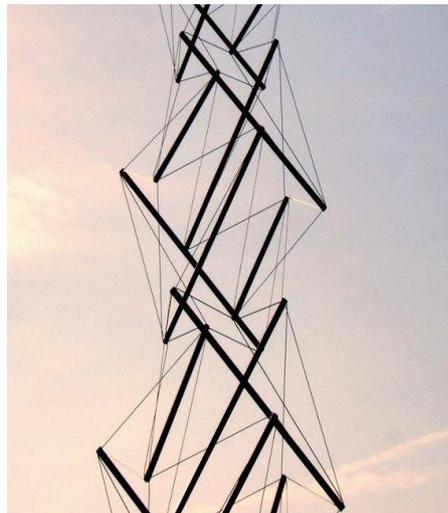


Figura 89 - Torre EC Column - Detalhe

Torre Needle Tower de 1968 em alumínio e aço inoxidável com tamanho de 30 x 6 x 6 m faz parte da coleção do Museu Hirshhorn em Washington, D.C. - EUA.



Figura 91 - Escultura Needle Tower - Detalhe

Figura 92 - Escultura Needle Tower – Snelson

Na arquitetura há uma obra de arquitetura caracterizada por ter uma estrutura em modelo *tensegrity* que é a ponte Kurilpa que liga as cidades de Brisbane e Queensland na Austrália. A estrutura possui algumas hastes paralelas, a ponte, que estão suspensas e tensionadas apenas por cabos.



Figura 93 - Kurilpa Bridge – Brisbane, Queensland, Austrália

Como mencionado não há muitas construções em modelo *tensegrity* conhecidas, mas a arquitetura e engenharia utilizam alguns recursos e características desse que são chamadas de estruturas tensionadas ou as estaiadas. As estruturas tensionadas são comumente encontradas em tetos ou coberturas de espaços amplos como estádios ou pavilhões. Já as estruturas estaiadas, termo que advém do inglês *stayed* ou *staying* que significa suporte ou escora, são comumente encontradas em pontes e torres de transmissão de energia. No Brasil podemos encontrar algumas e a aparência estética é muito atraente, já que possibilitam formas muito diversas, mas sua principal vantagem é permitir construções com grandes vãos livres eliminando as colunas de apoio.

Outro grande expoente dessa área foi Frei Otto, arquiteto alemão e engenheiro estrutural, falecido em nove de março de 2015, muito conhecido por suas inovações pioneiras em estruturas leves e de tração.

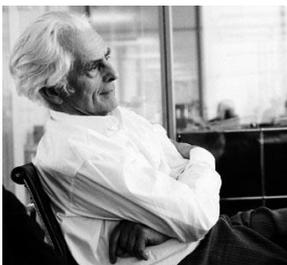


Figura 94 - Frei Otto

Pouco antes de sua morte em 2015 ele foi premiado com o Prêmio Pritzker e antes disso ele foi premiado com a Medalha de Ouro RIBA Real em 2006. Grande parte de sua pesquisa em estruturas leves é tão relevante hoje como às primeiras que propôs a mais de 60 anos atrás, e seu trabalho continua a influenciar os arquitetos e engenheiros do século XXI. Suas obras sempre foram consideradas bem a frente da sua época, muito pela capacidade de criar formas harmônicas e temáticas ao ambiente e contexto proposto.



Figura 95 - Kurilpa Bridge - detalhe 1



Figura 96 - Kurilpa Bridge – detalhe 2

A leveza de suas obras nos parece mais fascinantes quando levamos em consideração seu alto desempenho estrutural. Otto não se preocupava em desenvolver modelos *tensegrity* propriamente dito, sua intenção era criar obras com aspecto estético diferenciado com o emprego de materiais e conceitos básicos do sistema com a utilização de cabos, hastes e membranas, mas com suas obras contribuiu pioneiramente para avanços matemáticos e estruturais, no ramo da engenharia civil e arquitetura.



Figura 97 – Pavilhão Alemão em Montreal - Detalhe

O objetivo principal de criar estruturas leves era de reduzir o uso de materiais, mas também integrá-las e harmonizá-las com a natureza. Assim, por cabos tensionados as membranas, conseguia uma estrutura capaz de cobrir grandes distâncias, apenas com a ajuda de alguns mastros que sustentavam as cargas permitia a obtenção de grandes espaços abertos. Estas características são o que fazem a carreira de Otto ser tão admirada e que pode ser evidenciada em duas de suas obras mais famosas como o Pavilhão da Alemanha Ocidental para a Expo Mundial de 1967, realizada em Montreal, e do telhado do Estádio Olímpico de Munique Parque Olímpico, realizado em 1972.



Figura 98 – Pavilhão Alemão Exposição Montreal - Otto 1967



Figura 99 – Estádio Olímpico de Munique – Interno – Otto 1972



Figura 100 – Estádio Olímpico de Munique - Otto 1972

Com o sucesso dessas construções Otto desenvolveu uma série de estruturas arquitetônicas que compuseram sua obra e demonstrada a partir de agora.

Uma delas é o aviário do zoológico de Munique que demonstra bem as qualidades de leveza das obras de Otto. Essa estrutura possui conceitos básicos muito próximos do *tensegrity* já que a haste que sustenta a

membrana, por sua vez, é mantida equilibrada pelos cabos que prendem a membrana. A estrutura possibilita andar por cima.



Figura 101 - Aviário do Zoo de Munique



Figura 102 - Tenda Coração – Detalhe externo

Outra estrutura que demonstra a diversidade da criação e adaptação do conceito ao contexto da obra é a “Tenda Coração” localizada no Tuwaiq Palace em Riyadh na Arábia Saudita, concebido como um clube diplomático.



Figura 103 - Tenda Coração no Tuwaiq Palace em Riyadh - Otto



Figura 104 - Tenda Coração – Detalhe 2

Outra estrutura que teve grande repercussão foi o guarda-sol criado para a excursão do grupo de rock'n roll Pink Floyd realizada nos Estados Unidos em 1977.



Figura 105 - Guarda-sol



Figura 106 - Guarda-sol show Pink Floyd EUA - Otto 1977

Otto desenvolvia suas criações com base em estruturas geométricas similares aos que Snelson e Fuller se baseavam para desenvolver os módulos *tensegrity*.

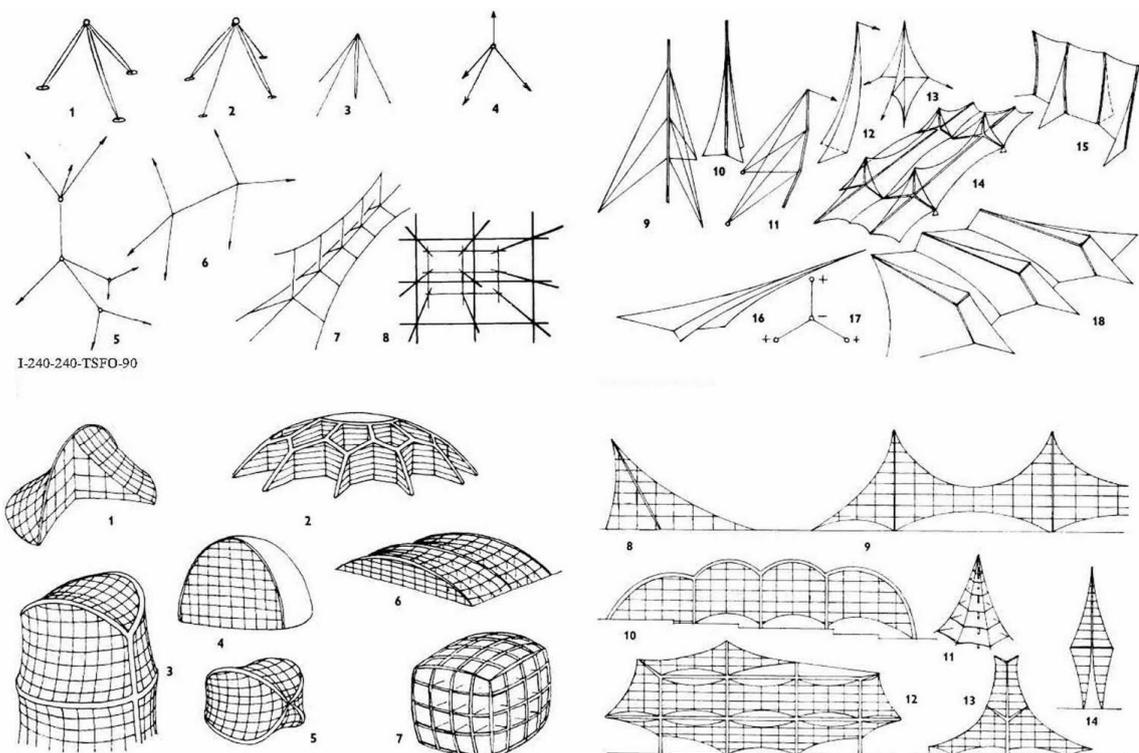


Figura 107 - Modelos das estruturas - Otto

Como já dito, um dos estudiosos que mais produziu modelos de tensegrity foi Kenneth Snelson, que desvendou os mistérios físicos e matemáticos dos sistemas de força gerados pelo *tensegrity* e foi um dos que mais o difundiu pelo mundo. Mesmo assim as aplicações desse

sistema para Snelson se reduziram as artes plásticas. Contudo outros pesquisadores aplicaram o *tensegrity* nas áreas de suas formações como arquitetura, engenharia e design. Muitos são voltados ao design de interiores, mas existem alguns em design de produto que também serão objeto de observação.

Enquanto cursava a graduação na PUC-Rio o designer Flávio Deslandes, orientado pelo professor Ripper, desenvolveu e patenteou em 1999 uma bicicleta *tensegrity*. O LILD possui um exemplar cujo estado não está muito bom, contudo é possível observar os detalhes.



Figura 108 - Bicicleta *tensegrity* idealizada por Flavio Deslandes no LILD/PUC-Rio



Figura 109 - Bicicleta *tensegrity* Maquete



Figura 110 - Bicicleta *tensegrity* - Detalhe

O desiner industrial Romeno Inout Predescu desenvolveu em 2008 uma bicicleta *tensegrity*, muito parecida com a de Flavio Deslandes, que usa dois tubos de fibra de carbono e fio de kevlar para substituir todos os tubos encontrados numa bicicleta convencional. Segundo Predescu o conceito é semelhante ao próprio conceito dos raios de uma roda onde as partes são comprimidas pela tensão dos cabos é mantidas unidas. Isso faz com que a bicicleta seja muito leve, com um quadro de alta resistência. Mas ele admite que possa haver problemas com a estabilidade lateral.



Figura 111 - Bicicleta *tensegrity* – Inout Predescu – Romenia



Figura 112 - Bicicleta *tensegrity*
Inout Predescu - Detalhe



Figura 113 - Bicicleta *tensegrity*
Inout Predescu – Detalhe 2

Como exemplo no design de interiores existe uma série de mobiliários que foram produzidos baseados em modelos *tensegrity* como mesas e cadeiras. Nessa aplicação o *tensegrity* substitui a base da mesa e age como suporte do tampo que invariavelmente é de vidro para dar visibilidade a estrutura. Uma delas é a mesa de café criada pelo americano Theodore Waddell que pode ser vista no Musée des Arts Décoratifs em Paris.



Figura 104 - Mesa de café *tensegrity* Theodore Waddell

Outro design que desponta na Europa que utiliza *tensegrity* em seus produtos é Konstantin Achkov. Como uma curiosidade de suas obras ele executou o design do interior de restaurantes e bares em Sófia. Archkov possui uma gama de projetos e os mais significativos são as mesas X-tense, V-star e a Mesa Rotor e ainda a cadeira X-tense que faz conjunto com a mesa de mesmo nome. Achkov é considerado um desenvolvedor de módulos *tensegrity* como Fuller e Snelson sendo que os aplica com mais frequência em produtos e mobiliários de interiores.



Figura 115 - Mesa *tensegrity*
Theodore Waddell - Detalhe 2



Figura 116 - Mesa *tensegrity*
Theodore Waddell - Detalhe 3



Figura 117 - Mesa *tensegrity* de Theodore Waddell

Como primeiros produtos a serem demonstrados vemos a mesa X-tense que foi concebida para ser composta com a cadeira X-tense. Vale ressaltar que a cadeira possui dois módulos de *tensegrity*, um é formado pelas hastes que substituem as pernas da cadeira e outro que conforma o encosto. Ambos as partes são integradas por cabos e hastes e principalmente por uma tela de metal que une e estrutura toda à cadeira e formam o encosto e assento.



Figura 118 - Mesa e cadeira X-tense de Konstantin Achkov



Figura 119 - Mesa X-tense de Konstantin Achkov - Detalhe

Outra mesa *tensegrity* de Archkov é a V-star que possui um miolo de metal flutuante que é conectado por cabos com as demais partes da estrutura.



Figura 120 - Mesa e cadeira V-star de Konstantin Achkov



Figura 121 - Cadeira X-tense de Konstantin Achkov



Figura 122 - Mesa V-star de Konstantin Achkov - Detalhe



Figura 123 - Mesa V-star de Konstantin Achkov - Detalhe 2

O último produto de Achkov é outra mesa intitulada de Rotor. Ela possui dois modelos, o modelo 1 com os cabos concentrados nas extremidades da estrutura e o modelo 2 com os cabos se encontrando no meio da estrutura.

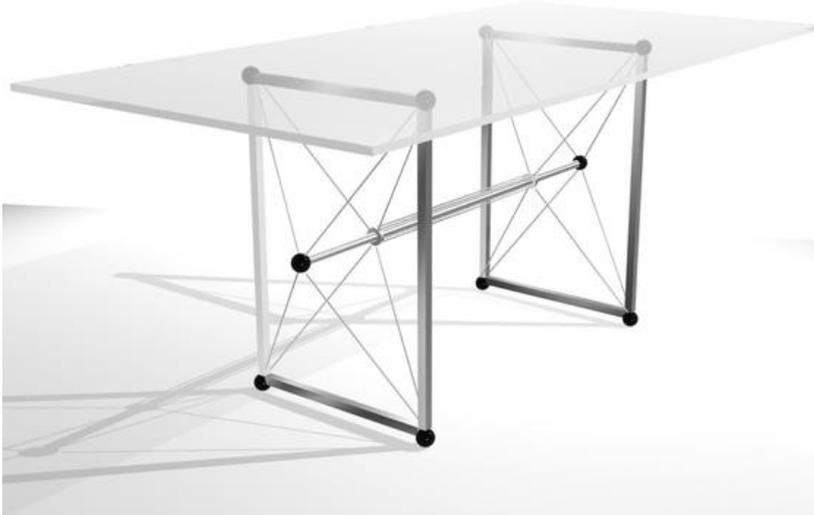


Figura 124 - Mesa Rotor de Konstantin Achkov - Modelo 1



Figura 125 - Mesa Rotor de Konstantin Achkov - Modelo 2



Figura 126 - Mesa Rotor
Modelo 2 - Detalhe



Figura 127 - Mesa Rotor
Modelo 2 - Detalhe 2



Figura 128 - Mesa Rotor
Modelo 2 - Detalhe 3

Como consideração preliminar desse capítulo é importante frisar que ele aborda um dos conteúdos do tripé teórico que estrutura essa pesquisa. É fundamental por ser o aspecto diferencial do projeto e em se tratando de uma cadeira de rodas que inclui pela primeira vez um sistema de modelo tensigrity como sua estrutura básica e demonstra a versatilidade da estrutura e sua diversidade de aplicações.