

## 7 Considerações finais

Ao final da pesquisa chegou-se a conclusão que o **problema de pesquisa**, que está descrito no 2º parágrafo da pág. 27 do capítulo da Introdução, estava coerente e bem dimensionado com os meios disponíveis e empregado para sua verificação, de forma que, não só se verificou positivamente o problema, como também aos **objetivos, geral e específico**, que estão descritos a partir do 4º parágrafo da pág. 27 do capítulo da Introdução. Ambos objetivos específicos foram plenamente atingidos e materializados pelo sucesso da elaboração do gabarito, cujas etapas de projeto e produção estão discorridas nos capítulos 4 e 5, respectivamente, e posteriormente com os testes realizados com usuários permanentes de cadeiras de rodas e apresentados no capítulo 6.

O maior desafio para a concretização do **primeiro objetivo específico** estava na própria complexidade do projeto, que é em suma, o acoplamento de duas estruturas independentes gerando um objeto de utilidade, sendo que ambas possuem uma série de técnicas específicas. No conjunto de uso foi necessário seguir algumas normas técnicas e ergonômicas, expostas no capítulo 2. A estrutura *tensegrity* era uma grande incógnita por não se ter projeto similar de mesma aplicação como parâmetro de análise e, que ainda se mostrou cheia de minúcias técnicas que foram desvendadas e equacionadas, na prática, durante a produção do modelo de testes.

O **segundo objetivo específico**, que dependia do sucesso da materialização do primeiro, pois visava verificar a capacidade da cadeira de rodas com estrutura *tensegrity* ser capaz de minimizar impactos e gerar conforto ao seu usuário, também foi bem concretizado. A maior dificuldade residiu na necessidade do envolvimento e participação de cadeirantes, pois estes possuem rotinas e costumes e qualquer mudança pode gerar desconforto físico e psicológico, além de todo o bojo ético e moral envolvido com testes envolvendo seres humanos. Mas, felizmente todos os testes transcorreram muito bem, não havendo problema de nenhuma ordem.

E assim, em consequência do retorno positivo dos testes, as demais proposições da pesquisa também foram sendo respondidas, seguindo o escopo inicial, como a **formulação da hipótese**, que está descrita no 3º parágrafo da pág. 27 do capítulo da Introdução.

Para comprovar a efetividade da **hipótese**, vale abrir um comentário específico de fato ocorrido num dos testes com os usuários. Willian, que é morador de Niterói, na entrevista respondeu a respeito da comparação do uso da sua cadeira com a cadeira *tensegrity* de que necessitava de empinar sua cadeira para transpor um ressalto de 3 cm entre a cozinha e o corredor, caso não realizasse uma manobra o obstáculo impediria que seguisse para os quartos. Mas, quando testou a cadeira *tensegrity*, esta diante do mesmo obstáculo, o transpôs naturalmente sem a necessidade da manobra de empinar. Isso demonstrou que a estrutura foi capaz de absorver o impacto e deformar-se para superar o obstáculo. Segundo Willian, o movimento de transposição foi tão natural que não causou nenhum solavanco ou sensação de desequilíbrio. Seguiu o comentário dizendo que só se deu conta desse fato após tê-lo realizado sem manobra. Completou afirmando que a transposição do ressalto não causou nenhum desajuste a estrutura que se manteve intacta. Isso também foi comprovado na avaliação que é realizada sempre após os testes para verificação da resistência e integridade da estrutura, onde nenhum cabeamento sofreu afrouxamento.

Portanto, a conclusão após todas as respostas positivas das pesquisas que foram aprofundadas dentro do campo da análise teórica e prática, é que a **justificativa** da pesquisa, de aprofundamento do *tensegrity* nos projetos de design ser uma grande contribuição para o campo social e da pesquisa e ainda com possibilidades de ampliação de sua aplicabilidade como desdobramentos no viés, não só da reabilitação, mas em produtos similares nos aspectos estruturais e funcionais, ou seja, objetos movidos a rodas.

Entende-se que a pesquisa não se encerra aqui, na verdade esse é o primeiro passo dentro de um campo muito pouco explorado. A **justificativa** está descrita no 2º parágrafo da pág. 26 do capítulo da Introdução.

Com base nos resultados obtidos na pesquisa, após os testes com os usuários e debates com o grupo multidisciplinar de profissionais da área de reabilitação, foram geradas várias **sugestões e contribuições** para adequar o design do projeto às práticas e necessidades de uso, bem como

às novas tecnologias e materiais disponíveis na produção de cadeiras de rodas, tudo isso com o intuito de melhorar a qualidade de vida do usuário. Também foi possível vislumbrar os possíveis desdobramentos do projeto inicial, feito para o protótipo, que resultaram em algumas propostas ao design da cadeira.

A fim de facilitar a **compreensão das alterações sugeridas pela comissão multidisciplinar e o Dr. Morais** as partes que foram alteradas estão assinaladas na Figura 272 para serem posteriormente detalhadas uma a uma.

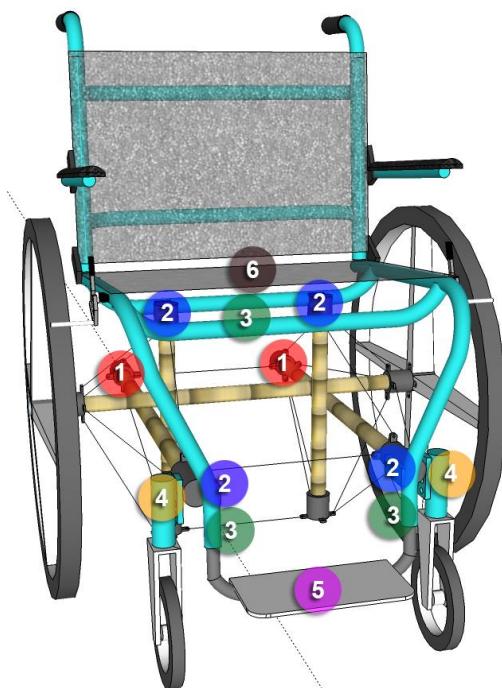


Figura 272 - Partes alteradas no projeto da cadeira *tensegrity*

A **primeira alteração** sugerida no projeto inicial é a diminuição da haste de bambu horizontal na parte posterior em 10 cm. Essa diminuição visa compactar a cadeira de rodas para facilitar seu manuseio durante o uso e seu transporte. A diminuição também visa adequar a cadeira às dimensões de bancos e espaços internos de automóveis. Todos os entrevistados, bem como os profissionais da área, pontuaram especificamente em relação à possibilidade de transporte por conta própria do usuário da cadeira de rodas. Essa possibilidade de transporte viabiliza a autonomia do cadeirante permitindo que ele domine com facilidade todas as ações cotidianas e possa usufruir da locomoção a qualquer momento em qualquer lugar. Essa alteração em nada afeta estruturalmente o *tensegrity*.

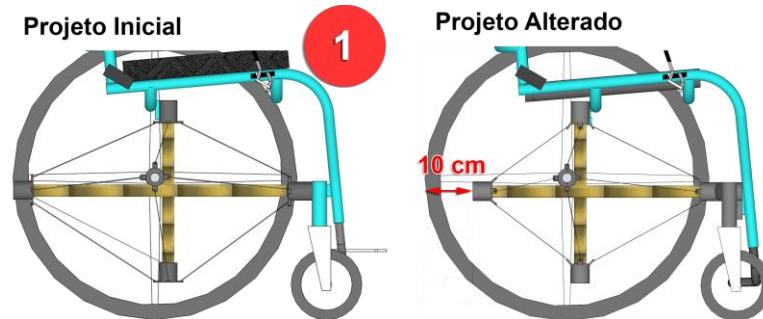


Figura 273 - Encurtamento da estrutura da cadeira *tensegrity*

A **segunda alteração** é a inclusão de uma variação de altura do conjunto de uso (encosto, assento, apoio dos pés) da cadeira de rodas. Esse ajuste de altura é necessário para adequação ergonômica às necessidades antropométricas de variação dos membros em relação ao tamanho total corporal. Essa patologia deriva do uso contínuo e enorme tempo na posição sentada que podem causar atrofias dos membros ou do tronco e consequentemente o aumento ou diminuição dos braços em relação ao tronco. Caso não seja prevista a variação de altura da cadeira os usuários que apresentam essa variação corporal sentiriam grande desconforto ou até mesmo a impossibilidade de alcance manual ao volante da cadeira de rodas para promover sua locomoção. O sistema de variação está dividido em três estágios com variação total de 3 cm entre o primeiro e o terceiro estágio e está localizado nos dois apoios do conjunto de uso com a estrutura *tensegrity*, um na parte frontal da cadeira e outro embaixo do assento.

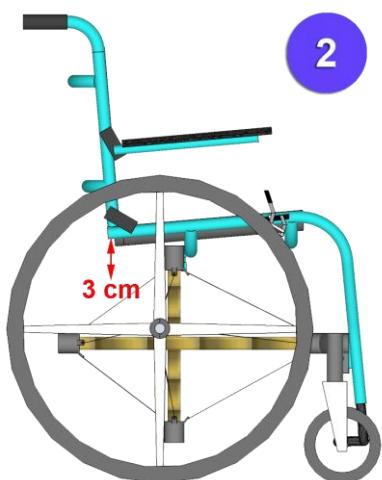


Figura 274 - Variação de altura da cadeira *tensegrity*

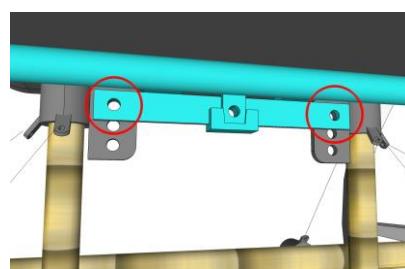


Figura 275 - Chapa com uma furação em cada lado

O sistema de variação de altura se efetiva com a inclusão de uma chapa de metal entre as conexões das hastes de bambu verticais

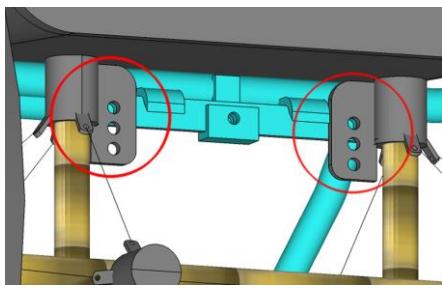


Figura 276 - Chapa com três furações para regulagem

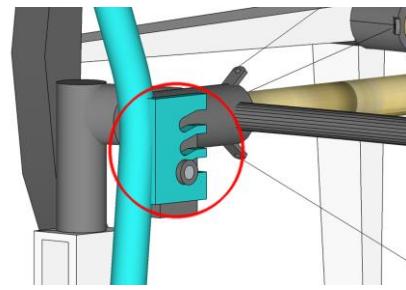


Figura 277 - Encaixe de 3 estágios na parte frontal

localizadas abaixo do assento, que possui uma furação em cada lado que permite ser afixada por parafuso na outra chapa localizada no conjunto de uso que possui três furações para a regulagem. Na parte frontal o sistema se completa com o encaixe de três estágios que também faz parte da terceira alteração e será detalhada a seguir.

A **terceira alteração** sugerida é a inclusão de um conjunto de engate rápido para facilitar o encaixe e retirada para transporte da cadeira entre o conjunto de uso com a estrutura *tensegrity*. Na parte frontal foi incluída uma peça metálica soldada na haste do apoio dos pés com três variações de altura. Tal encaixe não possui trava, mas mantém fixo a estrutura do conjunto de uso a estrutura *tensegrity*. O encaixe é realizado por um eixo cilíndrico de metal fixado na estrutura *tensegrity* que age como pivô rotativo com a parte posterior da cadeira.

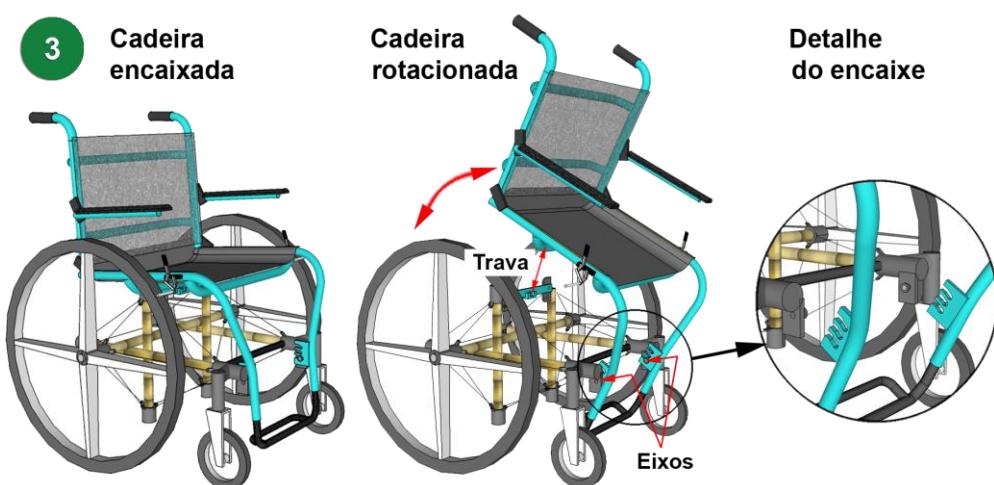


Figura 278 - Sistema de Engate com detalhe do encaixe no eixo

O conjunto de engate rápido se completa com uma trava na parte inferior do assento do conjunto de uso, que consiste no encaixe macho (M) de uma chapa com furação soldada no conjunto de uso com o encaixe fêmea (F) na estrutura *tensegrity*, por meio de um sistema denominado “*quick*

"release" (QR), o mesmo usado para a retirada das rodas dianteiras e traseiras. O encaixe fêmea está localizado na mesma chapa metálica que possui três variações de altura e estão fixados nas conexões superiores localizadas nas extremidades das hastes de bambu da estrutura *tensegrity*.

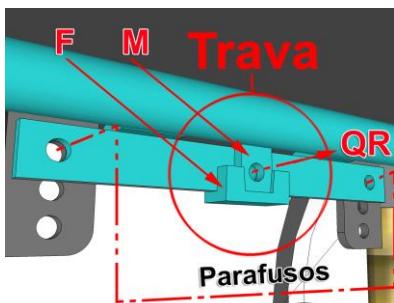


Figura 279 - Trava do Sistema de Encaixe

Na **quarta alteração** foi incluído um afastamento das rodas dianteiras para aumentar a estabilidade da cadeira e facilitar o giro de 360º para facilitar as manobras. Para efetivar o afastamento foi inserido um espaçador metálico soldado entre o apoio das rodas dianteiras com as conexões dos tubos dianteiros da estrutura *tensegrity*. O formato do espaçamento é levemente curvado para aumentar sua resistência longitudinal e o perfil metálico usado é oval para aumentar a resistência transversal. A inclusão do afastamento criou um momento de força maior pelo aumento do braço de alavanca que tende a girar para dentro as conexões que fixam as rodas dianteiras, essa ação pode desestabilizar o conjunto estrutural dianteiro e empenar a chapa de ajuste de altura inviabilizando o sistema de encaixe rápido.

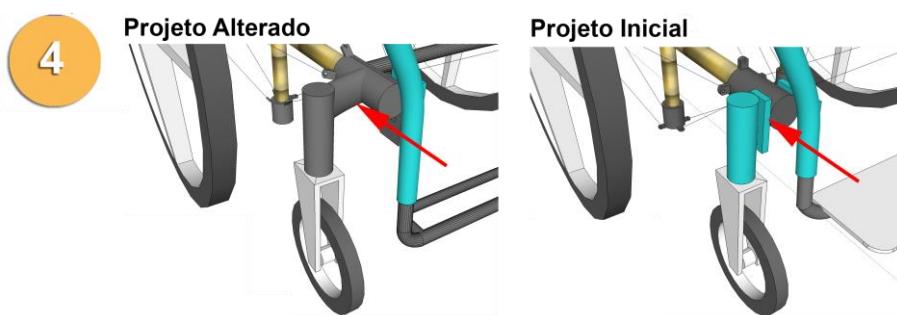


Figura 280 - Afastador das rodas dianteiras

Para evitar qualquer possibilidade que prejudicasse a estrutura foi inserida uma barra estabilizadora transversal ligando os suportes das rodas dianteiras. Essa barra mantém todo conjunto das rodas dianteiras

equidistantes e estabilizados na mesma posição não afetando e as novas alterações do projeto de encaixe rápido e variação de altura da cadeira. O formato da barra estabilizadora é levemente curvado acompanhando o design dos espaçadores das rodas dianteiras e o tubo é mais fino para dar uma aparência visual mais leve e contribuir para diminuição do peso total da cadeira. De qualquer forma, essa alteração só pode ser confirmada com testes práticos.

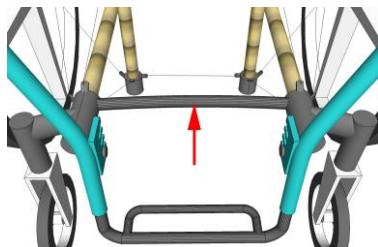


Figura 281 - Barra estabilizadora

Em consequência de todas essas alterações em relação à altura da cadeira foi incluída uma **quinta alteração**, o rebaixamento do conjunto do apoio dos pés para aumentar a variação do mesmo e adequar às variações da altura dos membros inferiores dos usuários.

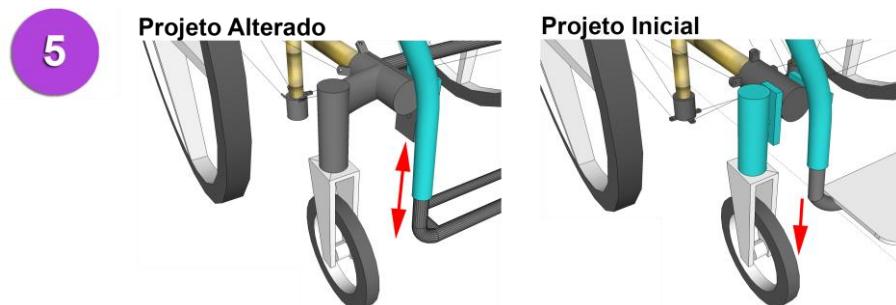


Figura 282 - Rebaixamento do apoio dos pés

A **sexta alteração** foi a inclusão de um apoio de assento rígido. O assento rígido aumenta a estabilidade do corpo na cadeira de rodas criando um encaixe corporal bem ajustado evitando desequilíbrio e permitindo uma tocada segura e tranquila da cadeira de rodas.

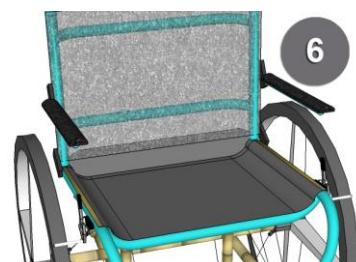


Figura 283 - Assento rígido na cadeira *tensegrity*

A **sétima alteração**, uma contribuição do engenheiro e prof. Luis Eustáquio, foi a adequação da angulação das presilhas do cabo de aço que estão localizadas nas conexões de metal das hastes de bambu. As presilhas foram inicialmente projetadas perpendiculares às posições das hastes de bambu, mas se verificou este posicionamento aumenta o torque localizado na junta da solda que poderia ocasionar sua ruptura. Para solução o prof. Luis Eustáquio sugeriu que as presilhas deveriam ter a mesma angulação que os cabos de aço, de forma que as presilhas exerçam resistência à força empregada no mesmo sentido de seu posicionamento eliminando a força de torque. Com o novo posicionamento as presilhas aumentam sua resistência, pois evitam um ponto de possível ruptura. As conexões, além de terem as posições das presilhas adequadas às suas funções, também receberão um tratamento visual para se integrarem ao design e contexto do produto. Aliás, a harmonização do design será abordada a seguir nos **desdobramentos do projeto**.

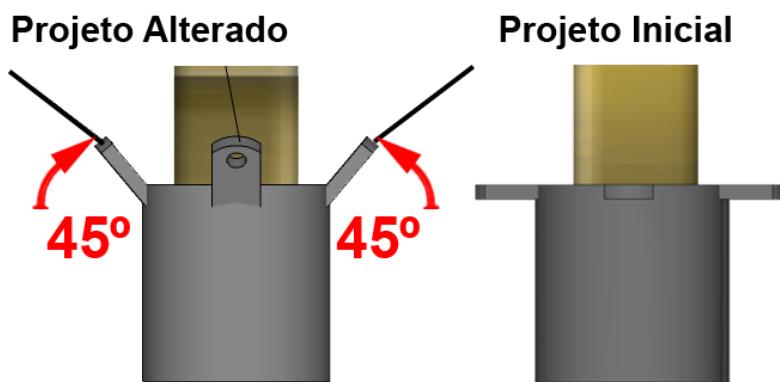


Figura 284 - Angulação das presilhas dos cabos de aço

Assim, com todas as questões mecânicas e estruturais definidas, foi possível ao final da pesquisa propor conceitos de design da cadeira de rodas *tensegrity* com diversas combinações de materiais e cores.

O projeto do protótipo, com as alterações sugeridas pós-testes, foi o ponto de partida para proposição desses designs, que tem como fonte principal a combinação de materiais com padrões e cores.

A proposição inicial de design foi a utilização do bambu na maior parte possível da cadeira em substituição a estrutura de duralumínio proposta no protótipo, dando a cadeira uma identidade visual integrada com a estrutura *tensegrity* de bambu.



Figura 285 - Bambu fosco claro e escuro

Nessa primeira opção, o bambu mantém seu aspecto natural, rústico, com acabamento superficial fosco ou brilhante. Na Figura 285 são apresentados exemplos de tratamento de cor no bambu natural e escurecido.

Nas Figuras 286 e 287 são apresentadas as opções de design da cadeira de rodas *tensegrity* com bambu na cor natural com tratamento superficial fosco e brilhante.



Figura 286 - Cadeira de rodas *tensegrity* em bambu fosco



Figura 287 - Cadeira de rodas *tensegrity* em bambu brilhante

Como apresentado no capítulo 3, o bambu é capaz de adquirir diversos aspectos como metal, madeira e plástico com acabamento superficial fosco ou brilhante e, assim possibilitar diversos efeitos, combinações e alternativas de cores e padrões visuais. Um efeito muito usado é o escurecimento do bambu com betume, conforme apresentado na Figura 285, que dá o efeito de madeira muito interessante e não altera a característica visual rústica do bambu que está apresentado como opção de design na Figura 288. Essa opção também pode ter acabamento superficial fosco ou brilhante.



Figura 288 - Cadeira de rodas *tensegrity* em bambu escuro brilhoso

Outra opção abordada foi à utilização de acabamento superficial com tinta e verniz, que foi objeto do doutorado de Arisio Rabin mencionado no capítulo 3, onde o bambu assume aspectos visuais de metal, plástico, madeira, quando estes são pintados e envernizados com brilho ou fosco. Com essa técnica é possível criar diversos padrões de motivos visuais, conforme Figuras 289 e 290 e aplica-los como opção de design para a cadeira de rodas *tensegrity*.



Figura 289 - Bambu com padrões e cores - Doutorado Arisio



Figura 290 - Acabamento superficial do bambu - Doutorado Arisio

Uma opção de acabamento superficial do bambu, conforme Figura 289, é obtida com a pintura preta de base e listras amarelas e vermelhas. Essa opção é a combinação de pintura e verniz e produz um visual diferente e muito atraente.



Figura 291 - Cadeira de rodas *tensegrity* em bambu pintado de preto com padrão de listras coloridas

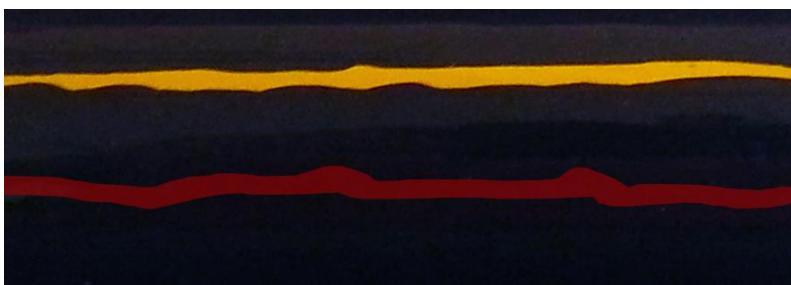


Figura 292 - Detalhe do bambu pintado de preto com listras coloridas

Outra versão da combinação de pintura e verniz é a opção de base azul com listras coloridas.



Figura 293 - Cadeira de rodas *tensegrity* em bambu pintado de azul com padrão de listras coloridas



Figura 294 - Detalhe do bambu pintado de azul com listras coloridas

Outra opção é o bambu pintado de cor vermelha na base com efeitos de manchas esfumaçadas que quebra a intensidade vibrante do vermelho.



Figura 295 - Cadeira de rodas *tensegrity* em bambu pintado de vermelho com padrão esfumaçado



Figura 296 - Detalhe do bambu pintado de vermelho com esfumaçado preto

Contudo, as combinações mais comuns em cadeiras de rodas são aquelas com cores únicas e vibrantes como amarelo e vermelho, que no bambu é obtida com tinta colorida de base e verniz de acabamento em contraste com cores neutras e escuras no assento e encosto. Essa opção é a mais indicada no uso continuo e diário por camoufler a sujeira e manchas. A Figura 297 mostra um exemplo dessas combinações com a estrutura em amarelo produzindo um contrastante vibrante.



Figura 297 - Cadeira de rodas *tensegrity* em bambu amarelo

Outras opções são as aplicações de efeitos de fibra de carbono ou mesmo o uso da própria fibra de carbono, já que esta possui características de alto desempenho mecânico com baixo peso, tal qual o bambu. Os maiores empecilhos de sua utilização residem no alto custo da matéria prima e tecnologia especializada de produção e manipulação que restringem sua aplicação. Independente disto, o efeito visual produzido é muito interessante.



Figura 298 - Cadeira de rodas *tensegrity* em fibra de carbono clara



Figura 299 - Cadeira de rodas *tensegrity* em fibra de carbono escura

Uma versão híbrida da combinação de metal e bambu, a mesma combinação usada no protótipo com conjunto de uso em alumínio e estrutura tensegrity em bambu, também é possível como opção ao design. Para esse design específico foi definido que seriam alternativas distintas, tanto das cadeiras disponíveis no mercado, de cor uniforme, como as já exploradas nos desdobramentos da pesquisa e supracitadas. Portanto, as opções a seguir demonstradas nas Figuras 301, 302 e 303 exploram um design alternativo e conceitual com tendência de harmonização e contextualização com o bambu, principalmente.



Figura 300 - Cadeira de rodas tensegrity híbrida de metal e bambu claro



Figura 301 - Cadeira de rodas *tensegrity* híbrida de metal e bambu escuro



Figura 302 - Cadeira de rodas *tensegrity* híbrida metal escuro e bambu escuro

O design dos acessórios da cadeira de rodas *tensegrity* também foi integrado ao contexto do objeto de pesquisa especificamente nos aros das rodas dianteiras e traseiras e todas as partes de apoio como o sistema de encaixe das rodas dianteiras e traseiras, além das conexões das terminações das varas de bambu.

As conexões das varas de bambu receberam um tratamento específico já que estas estão integradas ao sistema da estrutura e influenciam fortemente seu design e consequentemente da cadeira como um todo. Podemos afirmar que o primeiro olhar para a cadeira é

diretamente para seu diferencial, que é sua estrutura e, por isso merece uma dedicação especial na integração do contexto visual.

A intenção com a proposta do design das conexões é dar a maior sensação possível de harmonização e integração com o bambu. Sendo assim, o design foi desenvolvido com a proposta de reforçar a aparência da forma básica do conjunto das conexões, bambu e cabeamento, para que se assemelhasse a uma touceira de bambu.

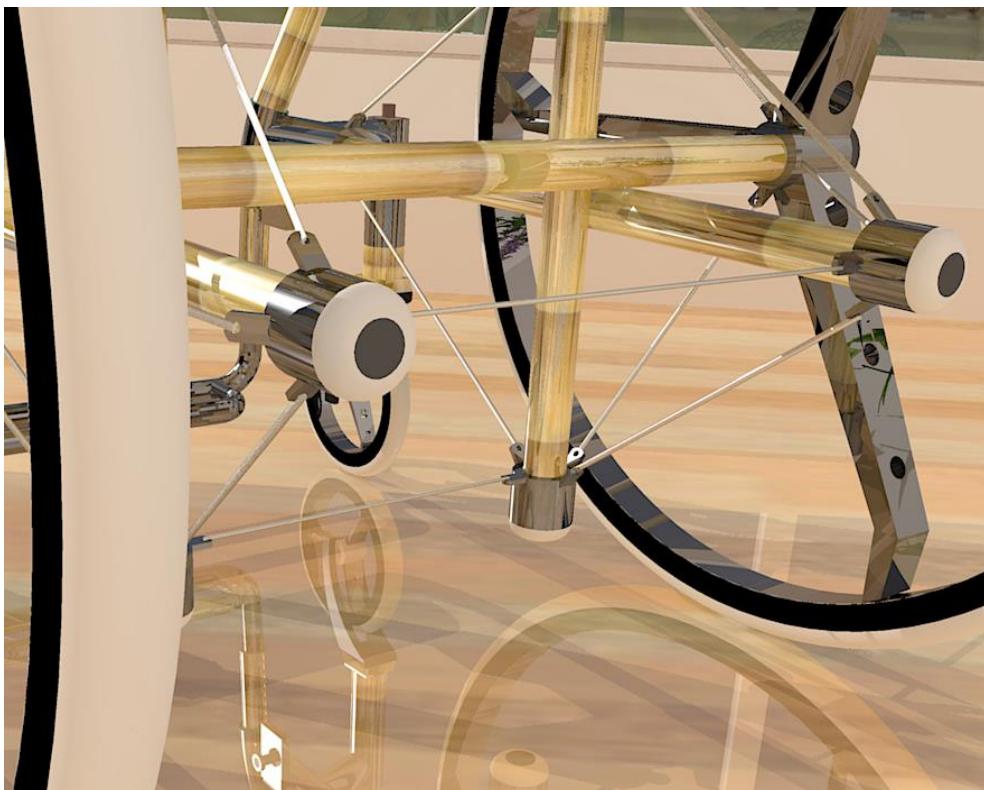


Figura 303 - Detalhe do conjunto das conexões com cabeamento

A primeira mudança foi no comprimento das presilhas dos cabos de aço, estas foram reposicionadas no corpo da conexão e alongadas para criar um design integrado e com a mesma fluidez natural de uma touceira de bambu.



Figura 304 - Touceira de bambu

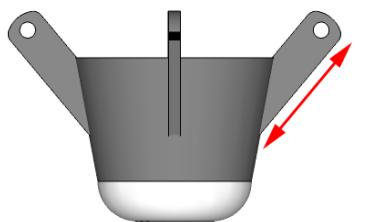


Figura 305 - Alongamento das presilhas



Figura 306 - Perspectiva das conexões

Mas as mudanças não se restrinham aos aspectos formais. A presilha teve sua direção alterada para aumentar sua resistência mecânica, pois na nova versão a presilha está posicionada com a parte de maior contato com a conexão na mesma direção da força exercida sobre ela.

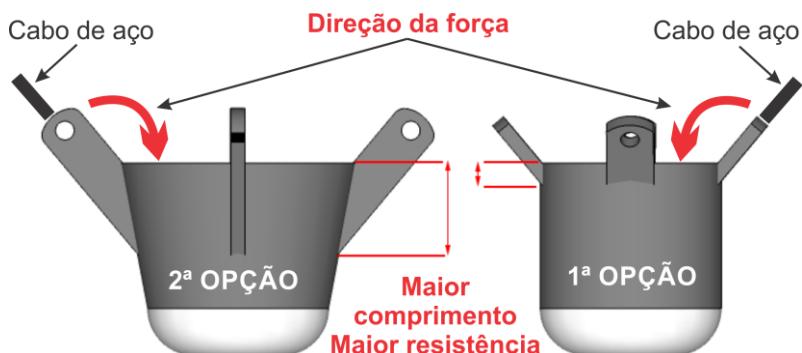


Figura 307 - Alteração da direção das presilhas

O reposicionamento também alterou a direção do furo passante na presilha, resultando no aumento do espaço em relação à vara de bambu e facilitando o enlaçamento do cabo de aço.

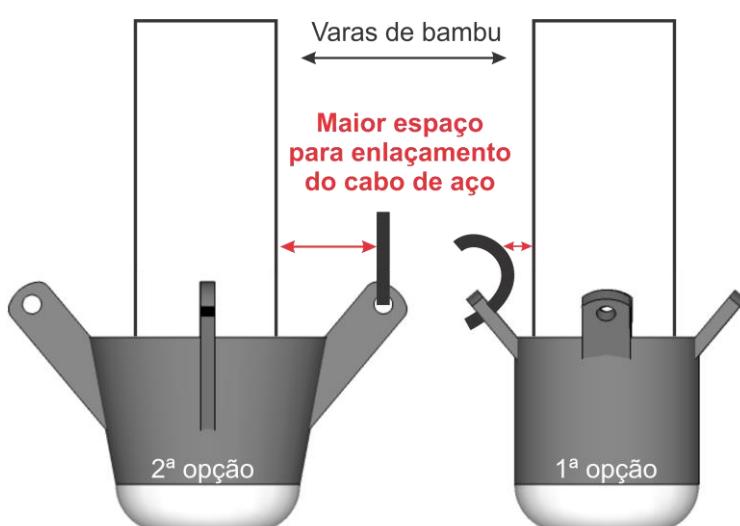


Figura 308 - Facilidade de enlaçamento do cabo de aço

A conexão pode ser produzida em partes que podem ser soldadas, mas a mais apropriada é a por impressão 3D que permite criar a conexão sem soldas e com cantos mais delineados e suaves. A impressão 3D é utilizada para produção de peças de pequeno porte e podem ser confeccionadas em diversos materiais como plásticos e metais.

Atualmente a PUC-Rio possui uma máquina de impressão 3D que produz peças em metais como alumínio, aço, aço inoxidável e titânio de até 40 cm<sup>2</sup> com alta qualidade de acabamento superficial e boa resistência. Testes feitos no Instituto Tecnológico – ITUC/PUC-Rio compararam a resistência de peças idênticas produzidas por três processos diferentes: fundição, Impressão 3D e usinagem e chegaram à conclusão de que peças feitas em impressão 3D são mais resistentes que as feitas por fundição e menos resistentes que as usinadas. Isso é um grande avanço dessa tecnologia, que é ainda capaz de criar objetos de alta complexidade e impossíveis de serem produzidas por outros processos. A impressão 3D é capaz de produzir peças e partes que se entremelam sem necessidade nenhuma de parafusos, encaixes, soldas ou peças bipartidas.



Figura 309 - Exemplo de produção complexa por impressão 3D

O custo da produção por impressão 3D ainda é alto se comparado aos processos convencionais na produção de peças de baixa complexidade. Contudo para confecção de peças de alta complexidade que exigem vários processos, mão de obra especializada e maquinários caros, o custo benefício da impressão 3D já é mais favorável.



Figura 310 - Imagens das peças em aço inox sem soldas

A impressão 3D, pelas qualidades acima descritas, é uma grande aliada do design por proporcionar objetos mais limpos, suaves e com infinitas variações e integração de formas.



Figura 311 - Conexão nova cabeada e montada na cadeira

Aqui se finds a etapa de pesquisa que visou o estudo da integração de sistemas para desenvolver um produto inovador que uniu técnicas específicas com práticas sociais e aspectos ecológicos e consequentemente ser a primeira etapa de muitos desdobramentos do projeto e de futuros estudos tendo como no **Âmbito pessoal** a continuação da Pesquisa; **Âmbito Acadêmico** ser o Embrião de novas pesquisas; **Âmbito Social** poder ampliar a aplicação da estrutura *tensegrity*, como uma suspensão (chassi), nos mais diversos ramos de utilização.

Durante a pesquisa houve algumas **Realizações** que se materializaram no **modelo de testes na cadeira de rodas com estrutura tensegrity** que é o embrião de possíveis estudos práticos, avanço tecnológico do projeto e protótipos. E também em **quatro trabalhos acadêmicos**, sendo dois submetidos a revistas científicas e dois a serem submetidos.