

# IMPRESSÃO 3D DE PONTES EMERGENCIAIS BASEADO NAS COMPETIÇÕES DE PONTES DE MACARRÃO

**Luan Ribeiro Ferreira** - luanribeiro0@yahoo.com.br

**Luana de Moura Gonçalves Lima** - luanamoura-g@hotmail.com

**Marina Roche Moreira** - marina.roche@gmail.com

**Márcia Motta Pimenta Velloso, Física, DSc**– profmarciavelloso@gmail.com

Universidade Veiga de Almeida

Rua Ibituruna, 108, Tijuca.

20271-901 – Rio de Janeiro – Rio de Janeiro

**Resumo:** *Nas últimas décadas, tem-se presenciado um aumento considerável na ocorrência de desastres e catástrofes que podem acontecer a qualquer momento, colocando as pessoas em situações de emergência. Visto que é difícil prever ou erradicar tais problemas, é preciso encontrar uma maneira de amenizar os impactos causados, que é uma preocupação para a maioria da população que vive em constante estado de alerta. O artigo tem como objetivo demonstrar que há possibilidade de acelerar o processo de abastecimento e socorro às vítimas dos locais afetados, oferecendo toda a assistência necessária, buscando meios de acesso eficazes para evacuá-los, auxiliá-los e abrigá-los através da elaboração de um modelo em escala. Em analogia com o projeto “competições de pontes de macarrão”, testado e comprovado de sua capacidade de suportar cargas, pretende-se utilizar a impressora 3D para a construção de pontes emergenciais, retirando essas pessoas do isolamento causado pela tragédia. A ideia se baseia em equipar um caminhão com uma impressora 3D de “grande porte”, e que, assim que chegue ao local atingido possa imprimir e posicionar uma ponte provisória. Espera-se que com este recurso, haja a diminuição dos problemas de desabastecimento local, evitando assim os altos índices de mortalidade geralmente causados pela falta de socorro imediato.*

**Palavras-chave:** *Construção 3D; Engenharia Civil; Impressora 3D; Pontes Emergenciais.*

## 1. INTRODUÇÃO

Este artigo é fruto do trabalho do Programa de Iniciação Científica do Ciclo Básico da Universidade Veiga de Almeida, PIC-UVA. Este Programa, no Ciclo Básico, tem o objetivo de apresentar o método científico, incentivar hábitos de estudo, trabalho em grupo, aplicação dos conhecimentos básicos e incentivar à pesquisa científica.

O projeto visa acelerar esse processo de recuperação, além de modernizar e melhorar a maioria dos serviços que são prestados nesse ramo a fim de solucionar parte dos problemas relacionados aos momentos que sucedem os desastres, incorporando o uso da alta tecnologia que a impressora 3D oferece. A ideia se baseia em equipar um caminhão com uma impressora 3D de “grande porte”, e que, assim que chegue ao local possa imprimir uma ponte e posiciona-la no lugar que foi atingido. Inicialmente, o foco será somente no resgate de pessoas. No entanto, futuramente, pode-se chegar a uma solução que permita a passagem de viaturas e ambulâncias.

Nas últimas décadas, tem-se presenciado um aumento considerável na ocorrência de desastres e catástrofes que podem acontecer a qualquer momento, colocando pessoas em situações emergenciais. Vale ressaltar que é difícil prever ou erradicar tais

problemas, por isso é preciso encontrar uma maneira de amenizar os impactos causados, que hoje atinge grande parte dos continentes e preocupa a maioria da população que vive em constante estado de alerta aos fenômenos naturais. Em casos de tragédia, nos deparamos com a grande dificuldade de acesso às vítimas por falta de pontes e/ou vias que foram danificadas no incidente, assim necessitando de evacuação e remoção emergencial. Em analogia com o projeto “pontes de macarrão” testado e comprovado de sua capacidade de aguentar cargas, pretende-se utilizar essa impressora para a construção de pontes emergenciais, retirando o isolamento causado pela tragédia.

## 2. O ESTUDO DE PONTES E TRELIÇAS

A construção de uma ponte tem por objetivo fundamental transpor um obstáculo, pode ser atravessar rios e lagos, interligar duas regiões, entre outros. Dito isso, é possível afirmar que a queda acidental de troncos sobre os rios, com a união de suas margens, foi à origem das primeiras pontes do planeta. Uma ponte pode ser construída de diversos materiais, a escolha dependerá somente da necessidade da obra. A construção de uma ponte treliçada é uma ótima alternativa porque o projeto, a construção e o erguimento são bastante simples. Vale ressaltar que após a sua instalação, os esqueletos não atrapalham as estradas porque elas ocupam menos espaço que as pontes em vigas. (Miliauskas Arquitetura, 2013)

O estudo de treliças para construção de pontes de macarrão vem sendo utilizado constantemente com o intuito de facilitar o ensino do comportamento de uma estrutura treliçada para os estudantes de engenharia, pois ao colocar em prática o conteúdo há a melhora na fixação e compreensão do aprendizado teórico. As treliças são estruturas rígidas de simples compostas por barras e nós. Sua geometria triangular é a característica que afeta diretamente a distribuição de carga. É preciso garantir que ela não seja uma estrutura não estática, ou seja, isenta de equilíbrio estático, tendo assim certo grau de movimentação. Além disso, seu corpo não pode sofrer flambagem, que na prática corresponde ao fenômeno de peças esbeltas se deslocarem transversalmente à linha de ação de força da força aplicada. Isso ocorre quando a força aplicada atinge um valor superior ao da carga crítica. Ao interligar uma treliça na outra é possível criar diferentes estruturas com o intuito de satisfazer as necessidades solicitadas. O desenvolvimento estrutural leva em consideração as especificações do projeto, como por exemplo, sua economia e funcionalidade. Elas podem ser encontradas em dois tipos, a diferença está quanto ao posicionamento de seus componentes. Treliças planas possuem suas barras no mesmo plano enquanto que nas espaciais, elas estão em planos diferentes. (Estruturas Metálicas, 2011)

Sua solução estrutural se deve ao fato que uma treliça está sujeita somente a duas forças, tração e compressão. A tração e a compressão são forças externas que atuam sob a superfície de um corpo. As direções das setas representam as ações da força e os sinais representam suas funções, logo é possível compreender que a tração é positiva por expandi-la e a compressão é negativa por comprimi-la, assim como demonstra a figura 1.

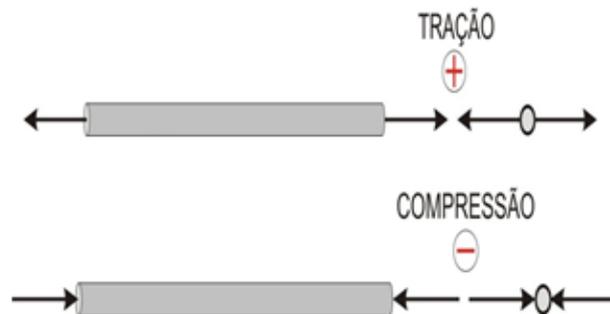


Figura 1 – Apresentação dos esforços na barra da treliça. Fonte: GILBERT, Anne; LEET, Kenneth; UANG, Chia.

Compreender as ações dessas forças é necessário para o entendimento posterior dos métodos de dimensionamentos das treliças. O material utilizado na construção das treliças deve conter uma resistência à tração que deve ser maior do que para compressão, possibilitando a diminuição da espessura. (MARTINEZ, 2012)

O dimensionamento de uma treliça pode ser feito pela aplicação de um dos dois métodos existentes. O Método de Cremona é utilizado para verificar as forças aplicadas em cada nó. Já no Método de Ritter analisa os esforços em uma determinada barra, para isso é feito um corte arbitrário nesta barra, recomenda-se que exista no máximo três incógnitas nesta seção.

É comum optar pela utilização das treliças em pontes porque atendem a diversas finalidades, devido à sua funcionalidade e sua geometria que é eficaz e simples ao mesmo tempo. Os seus variados formatos possibilitam a expansão da sua utilidade. Ao ter o conhecimento prévio sobre os esforços que as barras de uma treliça sofrem, é possível, por exemplo, fazer alterações em uma estrutura retirando as barras onde a soma das forças é nula, diminuindo assim o peso da mesma e economizando material. Desta forma, este conteúdo pode ser aplicado tanto para pontes de macarrão quanto para outros tipos de pontes, pois elas possuem os mesmos propósitos que são suportar certa quantidade de carga e ligar dois pontos. Os modelos de treliças mais encontradas nas estruturas de pontes são a Pratt, Howe e a Warren. A principal característica é que os mesmos são capazes de satisfazer as necessidades solicitadas, como a de aguentar elevadas quantidades de cargas e atingir vãos de pequeno, médio e grande extensão. Cada uma obedece a diferentes regras de ação-reação das forças de tração e compressão, o que influencia na escolha do material que será usado para suas construções.

A fim de atingir as necessidades solicitadas pelo edital e o desempenho no suporte de cargas, por ser mais fácil de ser montada a Warren é uma boa escolha para ser utilizada nas competições de Ponte de Macarrão. As pontes utilizadas pelo Exército Brasileiro em situações de emergência também são pontes que utilizam a treliça Warren, o que mostra ser uma estrutura fácil e eficaz para a construção de pontes emergências.

A treliça Warren é caracterizada pela presença de triângulos equiláteros e isósceles formados por suas barras diagonais. Suas barras estão posicionadas de forma alternada, sendo uma apontando para o centro do vão, seguida de outra apontando para o lado oposto. As barras diagonais se comportam de uma maneira em que sofrem alternadamente tração e compressão. As barras que apontam para o centro do vão estão sobre o efeito de tração, enquanto as barras apontadas para a extremidade da ponte sofrem compressão. Para aumentar a resistência da estrutura, podem-se adicionar montantes dividindo os triângulos formados pelas barras diagonais.

Este tipo tem suas pequenas variações, como por exemplo, se terá montante ou não, ou se seu tabuleiro será posicionado por cima ou por “dentro” da treliça. A escolha do posicionamento da treliça varia de acordo com o local em qual a ponte treliçada estará situada e com a expectativa em relação à resistência da estrutura.

### 3. IMPRESSORA 3D

A impressão 3D é o nome dado à criação de um objeto em modelo tridimensional a partir de um modelo digital, gerado através do auxílio de softwares. (AZEVEDO, 2013) Com o intuito de servir como uma alternativa tecnológica, a impressão 3D contribui para a implantação de novas técnicas de modelagem e fabricação aditiva. Ao contrário da usinagem, que é o processo onde a matéria-prima é esculpida, ou seja, funciona de modo a remover o material, a impressão tridimensional trabalha por meio de um processo aditivo, onde camadas de um determinado material são sucessivamente adicionadas, a fim de compor o objeto.

A técnica da impressão 3D pode ser utilizada para diversas finalidades, como a confecção de protótipos funcionais, ferramentas de manufatura, modelagem conceitual, entre outros. Outra descoberta foi à aplicação dessa tecnologia na área da arquitetura e construção civil. Alguns escritórios de arquitetura adotaram esse método para a construção de maquetes e modelos 3D. Já na construção civil, o segmento da engenharia tem estudado a utilização de máquinas trabalhando como prototipagem rápida para a construção de casas, substituindo a mão de obra tradicional. Este método de fabricação pode vir a ser um grande avanço nesta área, devido aos seus diversos benefícios, como a velocidade e flexibilidade da técnica empregada.

Além das suas variadas formas de aplicabilidade, como a prototipagem, a impressão 3D conta com vantagens de custo, visto que não há desperdício de material, e também com o fato de que não há a necessidade de preparação ferramental, pois os softwares disponíveis utilizados para a elaboração dos modelos de impressão são de simples manuseio e não requerem nenhum estudo aprofundado com relação à programação. Existem softwares que servem como uma ferramenta para a criação dos modelos dos objetos tridimensionais, e outros responsáveis por controlar todas as condições de operação da impressora, desde o tamanho da área de impressão até a temperatura da plataforma. (AZEVEDO, 2013)

O formato de desenho aceito pelas impressoras 3D é o STL (StereoLithography), e o mesmo descreve algumas características do objeto, como as superfícies através dos vértices que compõem suas faces. (AZEVEDO, 2013) Após o objeto tridimensional ter sido exportado neste formato exigido, ele é encaminhado para um software onde se inicia todo o processo de fatiamento do sólido. Neste processo, o sólido é fatiado em camadas de modo que se adeque às limitações da impressora utilizada.

O tempo e a velocidade da impressão dependerão do tipo de material que será utilizado, do formato do objeto, além do tamanho do bico e do “braço” da impressora. Existem impressoras de diferentes dimensões, no entanto todas se baseiam no mesmo tipo demonstrado na Figura 2.

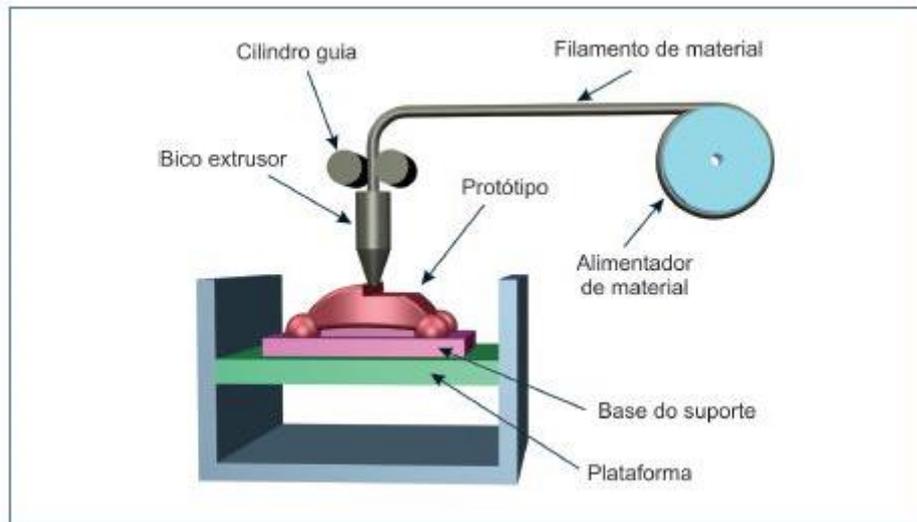


Figura 2 – Representação dos principais elementos da impressora 3D. Fonte: Up 3D Brasil. (UP 3D BRASIL, 2014)

Esta nova ferramenta está em constante desenvolvimento e suas aplicabilidades aumentam dia após dia. Então, pode-se dizer que devido a sua ampla capacidade de imprimir diferentes tipos de objetos, a impressora 3D é a tecnologia da década. Seu mercado está em desenvolvimento, no entanto já podem ser vistas nas primeiras grandes obras, como a construção de casas. A grande expectativa é de que as impressoras 3D não se restrinjam apenas a um grupo seletivo e possam vir a se tornar uma ferramenta para fins domésticos.

#### 4. EXPERIMENTO

##### Competição de pontes de macarrão

As competições de macarrão visam à construção de pontes para aguentar a maior quantidade de cargas, para isso é preciso que haja uma análise estrutural, a fim de identificar o melhor método. Sua aplicação tem como propósito buscar uma melhor compreensão do conteúdo teórico adquirido em determinadas disciplinas, diversas universidades procuram introduzir as competições de pontes de macarrão entre os estudantes de engenharia. Inicialmente, a instituição que aplica essa competição é responsável por adotar algumas regras que devem ser seguidas à risca. Essa atividade é utilizada como sendo um método lúdico e alternativo para o estudo de estruturas, facilitando assim o seu entendimento.

Tendo em vista que a maioria das estruturas utilizadas em pontes é constituída de um modelo treliçado, conclui-se que o resultado dessas competições contribui para uma melhor visão de análise estrutural, baseada nas informações que são adquiridas ao longo da atividade. Desde a escolha da estrutura que melhor se adéqua ao propósito inicial da competição até a montagem da ponte, o desenvolvimento está sujeito a um estudo científico mais aprofundado, para que dessa forma possa haver um elo entre o conhecimento teórico, e uma previsão do que seria a real situação.

As treliças são utilizadas porque se tratam de uma solução simples e eficaz, principalmente por este modelo atender às necessidades solicitadas na estrutura, como o de atingir grandes vãos e suportar elevadas quantidades de carga em relação aos outros modelos estruturais. Logo, devido à boa funcionalidade dos aspectos acima, as estruturas treliçadas podem ser encontradas em diferentes formatos. Após fazer a escolha do formato de treliça adequado, é recomendável que haja uma simulação de aplicação de carga para observar como a estrutura escolhida irá se comportar. Para

realizar essa simulação, é comum o uso de diversos softwares disponíveis, como por exemplo, o “Ftool 3.0”. Ao analisar o resultado das simulações, é possível fazer as devidas alterações na estrutura da ponte, caso seja necessário, antes de começar a construí-la. Ao final de todo o processo para a montagem da ponte, a mesma é submetida a ensaios destrutivos que determinarão qual quantidade de carga ela suportará. Portanto, o segredo para vencer este tipo de competição está, primeiramente, na escolha do tipo de treliça adequada para a construção da ponte.

## **Pontes impressas**

Os desastres são conceituados como o resultado de eventos adversos que causam grandes impactos na sociedade, sendo distinguidos principalmente em função de sua origem, isto é, da natureza do fenômeno que o desencadeia. Toda a ocorrência de desastres envolve basicamente três fases distintas: o Antes, que corresponde ao momento que precede o evento; o Durante, que corresponde ao momento do impacto e suas consequências; e o Depois, que está associado à reestruturação das áreas afetadas. Temos assim um ciclo que precisa ser gerenciado de forma abrangente, visando sempre à redução do número de vidas. Existem dois tipos de desastres, que podem ser distinguidos como humanos e naturais. Os desastres humanos são aqueles gerados pelas ações ou omissões humanas, como acidentes de trânsito, incêndios industriais, contaminação de rios, entre outros. Os desastres naturais são causados pelo impacto de um fenômeno natural de grande intensidade sobre uma área ou região povoada, podendo ou não ser agravado pelas atividades antrópicas. No Brasil, a maioria dos desastres (mais de 80%) está associada às instabilidades atmosféricas severas, que são responsáveis pelas inundações, vendavais, tornados, granizos e escorregamentos. (MARCELINO, 2007) Na decorrência desses acontecimentos, visa-se a construção 3D de pontes emergenciais com a finalidade de oferecer toda a assistência necessária para as vítimas dessas tragédias, priorizando as ações de socorro imediato causadas pela destruição construindo meios de acesso eficazes para o resgate e socorro das pessoas atingidas.

Em analogia com as pontes de macarrão realizadas para fins competitivos, foi estudada a possibilidade da criação de pontes emergenciais utilizando a impressão 3D. Esse estudo reuniu todos os aspectos das impressoras 3D já existentes e suas atuais limitações, assim como um conhecimento mais aprofundado em relação a pontes treliçadas. Para entender o funcionamento das forças que agem nas barras de uma treliça e analisar como isso se aplica em uma estrutura, foi necessário realizar a construção de uma ponte de macarrão usando o modelo de treliça Warren, e esta foi submetida a testes de carga. Ao finalizar este experimento, pôde-se notar, dentro dos parâmetros, que a ponte treliçada do tipo Warren cumpriu com exigências pré-estabelecidas adotadas no propósito do projeto.

O comportamento da estrutura da ponte de macarrão permite a obtenção da prévia de como essa estrutura se comportará em tamanho real, ou seja, em larga escala. Sendo assim, comprova-se que, em outras proporções, a execução do projeto é viável. Um exemplo da utilização do modelo de treliça Warren em pontes que compartilham do mesmo objetivo, que é atingir grandes vãos e suportar uma carga consideravelmente alta em relação aos outros modelos, são as pontes emergenciais do Exército, também conhecidas como “pontes móveis”. Apesar de estarem localizadas estrategicamente em alguns pontos do Brasil, as pontes emergenciais do Exército não conseguem atender uniformemente os locais onde o seu uso se faz necessário.

Com base no estudo do lançamento das pontes emergenciais do exército, pôde-se observar que o mesmo é feito de modo que a estrutura seja montada em blocos e esses

blocos vão sendo acoplados a outros à medida que a ponte está sendo lançada, até atingir o tamanho necessário de acordo com o vão sobre o qual está sendo construída. Ao fazer as análises e as devidas comparações, chegou-se a conclusão de que o lançamento das pontes impressas poderia ser realizado de maneira semelhante. A impressora 3D, acoplada a um caminhão, imprime em blocos as partes da estrutura que, posteriormente, são encaixadas umas às outras e lançadas de modo que esse processo não interfira no comportamento da mesma.

Com os resultados obtidos através dos experimentos realizados com as pontes de macarrão, torna-se possível utilizar o mesmo fundamento para a impressão de um protótipo de mesmo tamanho utilizando os materiais disponíveis para a impressora 3D, como por exemplo, o termoplástico ABS. Esse material citado é ideal para ser utilizado em casos onde se precisa de uma boa resistência ao impacto. Além de ser um material estável, ou seja, não sofre variações ao ser extrudado ou expelido, ele possui uma boa resistência mecânica, é rígido, e ainda resistente à tração. (RODA) Analisando suas características, percebe-se que as mesmas se adequam perfeitamente para o intuito principal do projeto, que é uma ponte provisória. A ponte impressa será retirada do local assim que seus objetivos forem cumpridos. Ela será triturada para que o seu material possa ser reaproveitado para a construção de outra ponte dentro dos mesmos padrões.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A construção 3D é o futuro da construção civil, pois consegue preencher diversos ramos das ciências. Seu uso na Engenharia Civil está evoluindo consideravelmente em virtude das características de seus elementos, além de acelerar o tempo de execução de projetos. Através dos estudos feitos, com a analogia das competições de pontes de macarrão e as comparações entre os tipos de estruturas, foi possível identificar uma escolha que melhor se adequasse a criação de uma ponte impressa. Deste modo, foi comprovada a eficácia e o funcionamento da estrutura em pequena escala, tornando possível a execução do projeto em reais proporções.

Além do propósito de expandir a abrangência da utilização da impressão 3D em áreas da construção civil, a ideia e execução do projeto abrem caminhos para que essa tecnologia seja aproveitada como um método de solução alternativa em casos de outros problemas que se inserem nestas condições. Logo, espera-se que seja elaborado um protocolo para o uso dessa tecnologia em construções de pontes emergenciais em áreas atingidas por catástrofes e desastres, e que ele seja aproveitado para o desenvolvimento de projetos futuros.

### ***Agradecimentos***

Um agradecimento especial à Diego Rodrigues Serra Passos, aluno do Curso de Engenharia de Controle e Automação da UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, pelo apoio e suporte no uso e programação da impressora 3D.

## 6. REFERÊNCIAS

AZEVEDO, F. M. (2013). *Estudo e projeto de melhoria em máquina de impressão 3D*. São Carlos, São Paulo: USP - S.Carlos.

*Estruturas Metálicas*. (2011). Acesso em 24 de Março de 2014, disponível em [http://grupo2metalica.no.comunidades.net/index.php?pagina=1601237184\\_02](http://grupo2metalica.no.comunidades.net/index.php?pagina=1601237184_02)

MARCELINO, E. (2007). *Desastres naturais e geotecnologias: Conceitos Básicos*. Acesso em 19 de Fevereiro de 2014, disponível em INPE: <http://www.inpe.br/crs/geodesastres/conteudo/publicacoes/conceitosbasicos.pdf>

Miliauskas Arquitetura. (Setembro de 2013). *Pontes Treliçadas*. Acesso em 27 de Abril de 2014, disponível em [miliauskasarquitetura](http://miliauskasarquitetura.wordpress.com/tag/pontes-trelicadas/): <http://miliauskasarquitetura.wordpress.com/tag/pontes-trelicadas/>

RODA, D. T. (s.d.). *Acrinonitrila-butadieno-estireno (ABS)*. Acesso em 21 de Maio de 2014, disponível em Tudo Sobre Plásticos: <http://www.tudosobreplasticos.com/materiais/abs.asp>

UP 3D BRASIL. (19 de Maio de 2014). *Impressora 3D*. Fonte: <http://www.up3dbrasil.com.br/saiba-mais/>