



Diferenças na aplicação de concretos armados e protendidos na construção de Pontes

Vinícius Santana Marinho¹
(viniciusklk@gmail.com)

Professora orientadora: Camila Cedraz Prinz

Coordenação de curso de Engenharia Civil: Paulo Ricardo

Resumo

O artigo consiste na comparação entre o concreto armado e o concreto protendido quando aplicados na construção de pontes, principalmente nas peças estruturais que permitem que grandes carregamentos sejam aplicados ao decorrer da ponte e por grandes vãos sem que aconteçam deformações muito grandes a ponto de viabilizar rupturas. Essa comparação é importante, pois, existem diferenças entre o concreto armado e o concreto protendido, e por mais que suas aplicações possam ser próximas, é essencial que uma análise seja feita para identificar como a estrutura vai se comportar diante da geometria do projeto, dos vãos a serem vencidos e das cargas que necessitará suportar. Além disso, a partir do desenvolvimento desse trabalho vai ser possível ter uma noção maior por parte de economia de materiais e de gastos com a utilização de métodos construtivos que mais se adequem ao tipo de construção projetada. Tendo como base a utilização de um software tridimensional ANSYS é possível encontrar os resultados esperados que se identificam pela predominância do concreto protendido em relação a diminuição da sua deformação no esforço de cargas verticais enquanto pontes em concreto armado tendem a possuir uma deformação mais significativa.

Palavras-chave: Pontes. Concreto Protendido. Concreto Armado. Construção.

Abstract

The article consists of a comparison between reinforced concrete and prestressed concrete when applied in the construction of bridges, especially in structural parts that allow large loads to be applied along the bridge and through large spans without causing very large deformations to the point of making ruptures viable. This comparison is important, because there are differences between reinforced concrete and prestressed concrete, and as much as their applications may be close, it is essential that an analysis is carried out to identify how the structure will behave in the face of the design geometry, the spans to be overcome and the loads it will need to support. In addition, from the development of this work, it will be possible to have a greater notion of savings in materials and expenses with the use of construction methods that best suit the type of construction projected. With a three-dimensional software, it is possible to obtain the expected results if they accurately identify the protection prerequisites in relation to an

elevation of the adjustment base of their need to use bridges designed in reinforced concrete to have a more significant deformation.

Keywords: Bridges. Prestressed concrete. Reinforced Concrete. Construction.

1. INTRODUÇÃO

A invenção do concreto protendido se tornou extremamente relevante quando nós, seres humanos, começamos a identificar a necessidade de vencer grandes vãos e suportar grandes quantidades de carregamento em uma única construção. Por isso, em pontes e viadutos ouvimos mais ainda sobre o concreto protendido do que em outros tipos de construções comuns.

Entretanto, é interessante questionar o porquê utiliza-se o concreto protendido em construções mais “ousadas”, porquê o mesmo possui uma maior capacidade de suportar cargas e suportar grandes vãos em comparação com o concreto armado, já que o concreto armado também possui um grau elevado de resistência quando em conjunto com o aço.

Dito isso, é interessante destacar as diferenças presentes entre o concreto armado e o concreto protendido quando aplicados na elaboração de pontes, já que esse tipo de construção demonstra uma variabilidade de métodos e técnicas que possibilita um estudo de materiais muito mais aprofundado, além de facilitar o entendimento da forma como as peças se comportam.

Logo, utilizando da aplicação dos diferentes tipos de concreto em pontes, pode-se analisar com mais detalhamento o comportamento e as possíveis deformações que as peças sofrem quando aplicados carregamentos que irão ser distribuídos ao longo de grandes vãos, determinando assim as diferenças entre o concreto armado e o protendido. Tendo como ponto principal o objetivo de alcançar dados claros acerca das diferenças entre o comportamento das pontes em concreto armado e as pontes em concreto protendido, utilizando de softwares que permitam essa visualização em um campo tridimensional, facilitando a análise e promovendo uma conclusão para esse conteúdo.

2. CONCRETO

O concreto é um material extremamente utilizado atualmente pelo homem, suas aplicações são indispensáveis no processo de desenvolvimento da sociedade, já que é utilizado em todos os processos e etapas presentes em uma obra. Logo, de acordo com Mehta e Monteiro (2006), o concreto só perde em consumo pelo homem quando colocado em disputa com o consumo da água.

Esse material é obtido através da mistura de cimento, água e agregados. Esses agregados podem ser caracterizados em graúdos (britas) e miúdos (areias), são eles que auxiliam no processo de preenchimento dos espaços e também auxiliam no processo de retração, já que apenas o cimento e água possuem um alto grau de retração. Depois que se tem todo esse material unido, a água se identifica como um ativador do processo de endurecimento do concreto, pois, quando em contato com o cimento, é iniciado um processo físico-químico onde há a expulsão do calor e o endurecimento da massa. Em peças muito grandes, tem-se que evitar a evaporação prematura da água necessária a hidratação do cimento, é importante que a cura do concreto também seja controlada durante a execução e também após o processo de endurecimento (ALMEIDA, 2002).

A depender do objetivo no qual o concreto vai ser utilizado, tem-se diversos traços (quantidades diferentes de agregados, água e cimento) assim como diferentes tipos de aditivos que podem ser adicionados a mistura para melhorar características como: trabalhabilidade,

tempo de endurecimento, alcance de resistência do projeto, durabilidade, impermeabilidade e etc.

No desenvolvimento de projetos é extremamente importante que se tenham entendimento completo acerca das características que o concreto pode oferecer, pois, a depender dos carregamentos, das medidas e das técnicas construtivas, devemos buscar atender todas as normas e exigências, logo, a principal característica do concreto é a sua resistência aos esforços que comprimem a peça. Porém, o concreto não é tão resistente quando expostos a efeitos de tração (ALMEIDA, 2002).

Além da sua necessidade em todas as construções, o concreto possui um tipo de manuseio muito simples, difundido por todo o mundo e sendo capaz de ser gerado por pessoas com pouca qualificação, esse concreto é o mais utilizado em construções simples, ele é fabricado no canteiro de obras com auxílio de pás, baldes e até betoneiras. Porém, com o aumento da complexidade das construções, novas formas de fabricar o concreto podem ser colocadas a prova. Sabe-se que o uso do concreto é muito difundido justamente pela facilidade com que os elementos estruturais do concreto podem ser executados no canteiro, numa variedade de formas e medidas (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Pode-se, por exemplo, comprar o concreto pronto, fabricados em centrais de dosagens (conhecidas como usinas), e nessas fábricas a dosagem dos materiais e a qualidade do concreto são calculadas e comprovadas através de ensaios de laboratório que também podem ser feitos no canteiro de obras, entretanto, nessas fábricas as condições do concreto são mais controladas para proporcionar as necessidades de projeto e executar a obra com segurança (ALMEIDA, 2002).

Esse tipo de concreto usinado pode ser transportado por caminhões betoneira que entregam o material pronto para utilização, mas, atualmente também é possível aplicar o concreto na obra através de bombas que lançam o concreto em uma velocidade específica que facilitaria o transporte e evitaria a segregação do concreto que muitas vezes acontece pela forma com qual os profissionais levam para as áreas de aplicação.

Sendo assim, compreendendo as diversidades na fabricação e aplicação do concreto, avança-se nas construções e é possível visualizar cada vez mais as necessidades de tornar o concreto muito mais resistente, capaz de vencer grandes vãos e suportar grandes cargas para possibilitar que os avanços da sociedade moderna pudessem refletir nas complexas construções que se inicia a projetar com novas tecnologias, como é o caso do concreto armado e do concreto com armações protendidas (BASTOS, 2006).

2.1 Concreto armado

Quando se fala do concreto em questões estruturais, pode-se destacar que ao longo do tempo, foi-se percebendo a necessidade de aplicar outros materiais ao concreto para torna-los mais resistentes. Hoje, sabemos que o conjunto concreto mais armaduras de aço torna o concreto muito mais eficiente para suportar carregamentos muito maiores do que as cargas que eram aplicadas em concretos simples.

É o chamado concreto armado, sendo uma estrutura que utiliza armações feitas com barramentos de aço que podem variar de características quanto a sua composição de fabricação. Como foi dito anteriormente, o concreto por si só possui uma grande resistência aos esforços que promovem a compressão, entretanto, o concreto não possui uma boa resistência aos esforços de tração e por isso, a adição das barras de aço é justamente para resolver essa baixa resistência característica do concreto. É importante destacar que existe a aderência entre o aço e o concreto, além disso, o coeficiente de dilatação térmico de ambos é praticamente o mesmo, facilitando o conjunto desses dois materiais que se completam, pois, o aço fortifica a estrutura e o concreto protege o aço da oxidação (RIPPER, SOUZA, 1998).

Atualmente, projetos estruturais que utilizam de vigas e pilares demonstra a utilização de concreto armado como indispensável para alcançar todas as necessidades e se adequar aos projetos arquitetônicos atuais. E, sendo assim, todo concreto e também as armaduras de aço são dimensionadas de forma que para fabricação das peças existam o entendimento claro do tamanho das barras, a bitola utilizada, a bitola dos estribos, o espaçamento entre as barras e estribos e muitas outras considerações que vão reforçar o concreto de vigas e pilares (BOTELHO, 2006).

Com isso, podemos ressaltar muitas vantagens presentes no concreto armado, sendo eles: o aumento da resistência a tração por parte das peças de concreto, além disso, atualmente por sua grande utilização, temos custos mais baixos em comparação com outras técnicas construtivas, além dos custos de manutenção das peças em concreto armado que são menores; para fabricação de peças em concreto armado, tem-se que elaborar projetos e acompanhar todo desenvolvimento, e a facilidade para encontrar profissionais capacitados para executar peças em concreto armado é muito mais fácil do que outras técnicas construtivas; diferente de outros métodos construtivos, o concreto armado se mostra resistente ao passar do tempo e até mesmo em situações de incêndio ou intempéries externos; além, é claro, do desgaste mecânico que também se demonstram muito eficientes (BOTELHO, 2006).

Em contrapartida, temos também algumas desvantagens que devem ser ressaltadas, sendo elas: quando fabricado in loco, é possível que a resistência final do concreto armado seja afetada devido a possibilidade de erros durante o processo de mistura do concreto e da própria aplicação nas formas contendo as ferragens; esse método construtivo possui a necessidade de formas de madeira ou até mesmo metálicas, logo, sua fabricação é encarecida; durante o processo de fabricação de peças de concreto armado se tem muito desperdício, durante a mistura e também durante a concretagem das armações; são peças muito pesadas, o que faz com que as estruturas possuam limites de carregamentos; até mesmo em possíveis demolições o concreto armado se torna de difícil execução (BOTELHO, 2006).

2.2 Concreto protendido

Durante o avanço da complexidade das estruturas e dos projetos, construtores em geral começaram a identificar a necessidade de novos métodos construtivos que possibilitassem alcançar grandes medidas e suportar grandes esforços, como em construções de pontes, viadutos e etc. Com isso, tem-se o chamado concreto protendido, que nada mais é do que o concreto que possui cabos de aço por toda a sua extensão que irão ser alongados por meio de macacos hidráulicos para tornar a peça estrutural muito mais resistente.

De acordo com Almeida (2002) o concreto protendido que se conhece hoje foi desenvolvido ainda no séc XVIII, entretanto, a sua utilização em grande escala só foi mesmo administrada dois séculos mais tarde. Logo, o concreto protendido é um método conhecido atualmente, porém, não muito difundido. As pessoas envolvidas com construção civil possuem o entendimento acerca do método, porém, sua utilização está muito mais ligada a construções de grande porte (ALMEIDA, 2002).

Diante dessa complexidade ressaltada das novas construções, peças mais robustas e com grandes quantidades de aço em seus interiores se mostram muito mais custosas a construção e, muitas vezes, extrapolando o valor de execução dos empreendimentos. Logo, o concreto protendido é uma opção para a diminuição de gastos com concreto e uma opção para projetos que possuem grandes vãos para serem vencidos (HANAI, 1988).

O concreto protendido pode ser entendido como a protensão da sua armadura interna antes ou depois da concretagem da peça. Quando se utiliza o concreto armado e o mesmo sofre aplicações de carregamentos é possível identificar um momento fletor na peça que gera microfissuras, a depender da quantidade de carregamento aplicado, essas microfissuras podem

ocasionar no rompimento da peça que se inicia na parte mais frágil (tração) e finaliza na compressão da peça. Já no concreto protendido, o alongamento da sua armadura faz com que o concreto se comprima mais do que seu estado natural após concretagem e cura, essa compressão faz com que o momento fletor da peça diminua consideravelmente, e as microfissuras são mínimas, possibilitando o acréscimo de carregamento e conseqüentemente uma deformação mínima da peça (ALMEIDA, 2002).

Na construção civil as vantagens do concreto protendido são amplas: a primeira delas e mais ressaltada é a possibilidade que o concreto protendido expõe nas peças estruturais, possibilitando que as mesmas sejam muito mais finas do que quando compostas pelo concreto armado, e isso não influencia apenas no orçamento da obra como também na flexibilização dos designs arquitetônicos; além disso, peças menos robustas diminuem os gastos com aços de maior escala e com as próprias fôrmas para concretagem das peças; outra vantagem está ligada a manutenção das peças em concreto protendido, já que o mesmo possui uma maior resistência a tração das peças, o não surgimento de grandes deformações pode determinar que a peça possua uma vida útil muito mais longa do que peças em concreto armado que possuem um grau elevado de microfissuras na parte tracionada da peça (PFEIL, 1983).

Entretanto, qualquer método construtivo que possui grandes vantagens, também possui desvantagens na sua utilização: mesmo diante de muitos benefícios, temos que destacar que a técnica utilizada no alongamento das peças é bem mais complexa do que a execução de peças em concreto armado, logo, necessitamos de profissionais que realmente entendam do assunto para possibilitar a concepção de peças realmente funcionais, pois a protensão precisa ser calculada adequadamente e executada com muito rigor, pois estas estarão expostas a grandes esforços; logo, é necessário que uma empresa especializada em protensão seja contratada, e a escassez de empresas especializadas faz com que os valores de contratação desse serviço sejam bem altos; a necessidade de equipamentos altamente tecnológicos e bem aferidos é um ponto que dificulta bastante o andamento das obras em concreto protendido (PFEIL, 1983).

Fica claro que o concreto protendido é essencial para diversas obras mais complexas, porém, é indispensável a análise crítica do projeto para identificar quais métodos devem ser utilizados para juntar a segurança da estrutura com os gastos na execução do empreendimento.

3. PONTES

O avanço da humanidade foi em muitos casos representado pelo desenvolvimento da infraestrutura das cidades, estados e países. O seu crescimento exponencial demonstrou uma necessidade grande de desenvolver formas de interligar lugares e vencer grandes distâncias que geograficamente não eram capazes de serem vencidas através de estradas comuns. Por isso, o desenvolvimento de pontes se tornou cada vez mais importantes para a sociedade, além de serem extremamente úteis para percorrer grandes distâncias entre pontos separados por mares e rios, tem-se também questões estéticas (BERNARDO, 1980).

São conhecidas como pontes as estruturas que tem como objetivos permitir a transposição de obstáculos geográficos ou até mesmo dar continuidade a vias terrestres que não poderiam continuar de forma comum. Esses chamados obstáculos geográficos podem ser variados, como grandes vales, mares, rios e etc. (BERNARDO, 1980).

É interessante destacar a cronologia histórica do desenvolvimento das pontes para a sociedade, e, de acordo com Leonhardt (1979) pode-se destacar essa cronologia através da utilização dos materiais aplicados durante os anos. As pontes de madeira e de pedra são os primeiros projetos de ponte compreendidos pela humanidade, justamente pelo fato de utilizar madeira e pedra que também eram materiais empregados em diversas construções. Nesse caso, a estrutura das pontes era bastante simples, porém, mesmo com arranjos simples existiram

pontes capazes de vencer vãos consideráveis, como é o caso da ponte sobre o rio Reno, que alcançou incríveis 118 metros.

Avançando um pouco no tempo, começamos então a desenvolver pontes compostas por ferro fundido, ou seja, pontes metálicas. Foi no início dos anos 1800 que foram formadas pontes em treliças metálicas que podiam vencer vãos de até 124 metros. Por fim, e mais recentemente começamos a utilizar o concreto armado e o concreto protendido em pontes, capazes de vencer vãos consideravelmente grandes, e com uma maior importância ligada a resistência em relação ao desgaste, pois, mesmo que as pontes de madeira, de pedra e metálicas pudessem alcançar grandes vãos, as mesmas não suportavam tantos esforços e o desgaste do tempo presente no contato com rios e mares salgados (BERNARDO, 1980).

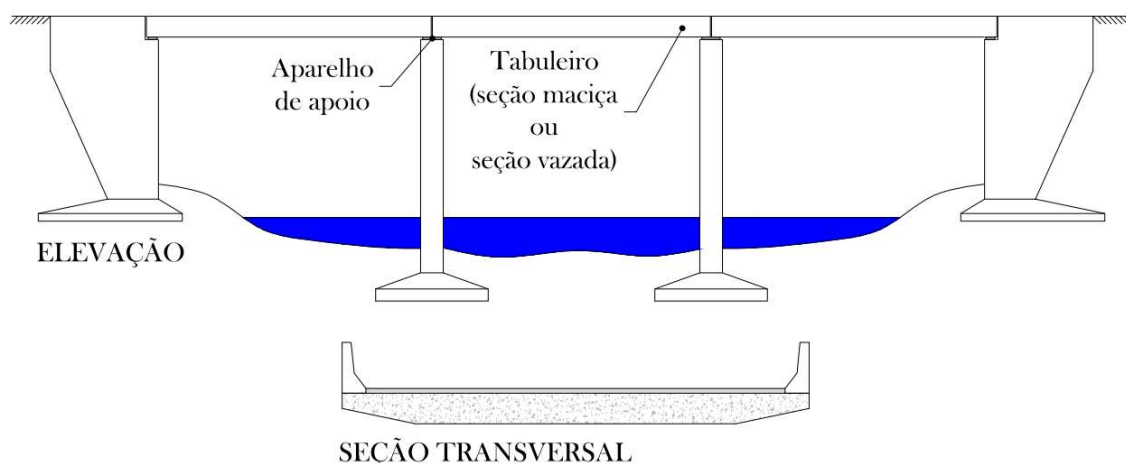
Logo, iremos destacar esses dois tipos de métodos construtivos para pontes, já que são os mais utilizados atualmente.

3.1 Pontes em concreto armado

Destacando a importância das pontes no contexto do avanço da sociedade com base na infraestrutura, podemos destacar o tipo de material utilizado na construção desses grandes projetos com objetivos ligados ao deslocamento de pessoas e veículos por locais que possuíam geograficamente dificuldades no acesso, nesse caso, é importante discutir a respeito da elaboração de pontes em concreto armado. As pontes em concreto armado possuem uma geometria e um conjunto de peças muito parecido com a construção de residências comuns, isso porque elas são constituídas de vigas e pilares que em conjunto conseguem distribuir as cargas aplicadas de forma homogênea a fim de direcionar as tensões de forma coordenada para manter toda a estrutura capaz de resistir a todos os esforços.

É possível destacar três tipos de pontes em concreto armado que são mais utilizadas, porém, cada uma delas expõe um tipo de vantagem e desvantagem que dependerá do projeto para identificar a melhor escolha, sendo elas: as pontes em laje, em viga ou em pórticos. As pontes em laje, segundo Hambly (1991) são compostas por elementos estruturais contínuos em planos bidimensionais, ou seja, quando são aplicados carregamentos na estrutura, a distribuição dos esforços é feita também por duas dimensões em efeitos cortantes, momentos fletores e momentos de torção das peças. Logo, apresentam boa capacidade de distribuição dos esforços proveniente dos carregamentos, possibilitando que as lajes em concreto armado sejam biapoiadas, contínuas ou até mesmo maciças (Figura 01).

Figura 01 – Ponte composta por lajes.

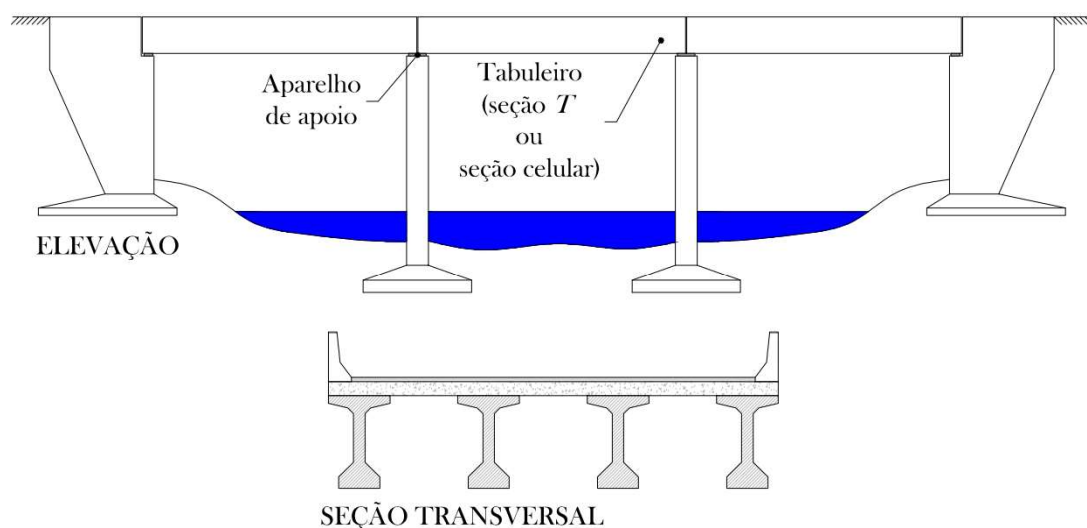


Fonte: (CAVALCANTE, 2019)

As vantagens presentes no sistema estrutural de laje em concreto armado para pontes podem ser expostas por: as lajes possuem espessura reduzida quando comparado a pontes de concreto em vigas, facilitando a passagem de barcos em seus interiores; esteticamente são mais bonitas que as pontes em viga, pois demonstra uma sensação de leveza e esbeltez; os esforços nos pilares são reduzidos, pois não há grandes momentos fletores nas peças da laje. Entretanto, temos também que expor alguns pontos negativos desse método estrutural em concreto armado. São eles: possui um grande peso próprio em relação a baixa ligação do momento de inércia pela área da seção transversal; para vãos maiores, necessitamos de seções vazadas nas peças para diminuir o peso próprio, porém, para fazer esse tipo de execução torna-se muito mais complexo e demorado do que peças maciças de concreto (CAVALCANTE, 2019).

As pontes em viga são bastante utilizadas no Brasil, de acordo com Cavalcante (2019) são pontes com sistemas estruturais compostos por longarinas servindo como apoio para lajes, que receberão os carregamentos diretamente. As longarinas em concreto armado se apoiam sobre os pilares e não transmitem momentos fletores, logo, quando há a elaboração de projetos estruturais, tende-se a separar a superestrutura da ponte da mesoestrutura, considerando que os apoios são peças indeformáveis (Figura 02).

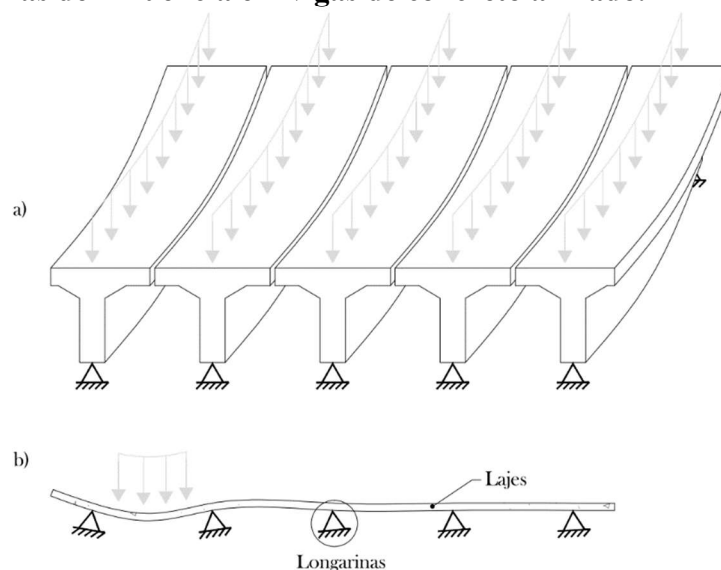
Figura 02 – Ponte composta por vigas estruturais.



Fonte: (CAVALCANTE, 2019)

De acordo com Abreu e Aguiar (2016) é usual utilizar o emprego de linhas de influência criadas a partir do estudo da variabilidade gerada pela carga móvel ao longo da seção transversal nos esforços das longarinas. Ou seja, com a adição das cargas ao longo da estrutura, a linha de influência é analisada para determinar a variação do efeito elástico da estrutura. Por isso é tão importante o entendimento sobre o comportamento da estrutura quando em situação de aplicação de esforços.

Figura 03 – Linhas de influência em vigas de concreto armado.

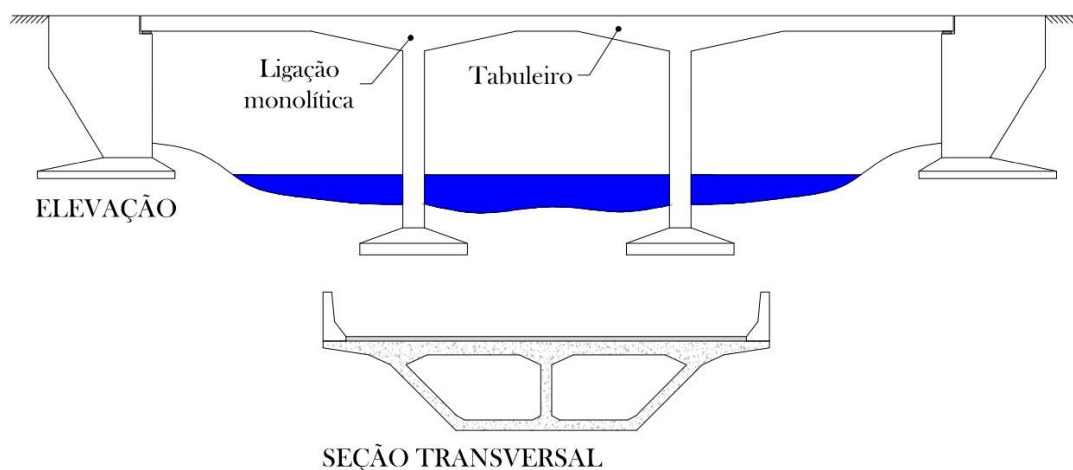


Fonte: (CAVALCANTE, 2019)

Com base na figura 03 acima, fica clara a disposição dos carregamentos e a forma como podemos analisar as peças com base nas linhas de influência desses carregamentos. É de acordo com a deformação do sistema estrutural que podemos tornar o projeto bem elaborado, já que teremos uma noção mais clara de como a estrutura irá se comportar nas piores hipóteses. Esse formato das longarinas é bastante utilizado em pontes de porte menor, pois, possuem uma facilidade na execução além de serem normalmente mais baratos quando comparados as pontes em laje.

Por último, temos as pontes em concreto armado constituídas por pórticos (Figura 04), e esse tipo se diferencia das pontes em laje e em vigas por apresentarem ligações rígidas ou semirrígidas entre as partes do tabuleiro e dos pilares ou paredes dos encontros, como podemos observar na figura 04 abaixo:

Figura 04 – Ponte composta por pórticos.



Fonte: (CAVALCANTE, 2019)

Segundo Leonhardt (1979) uma parcela do momento presente na estrutura da ponte em pórticos de concreto armado pode ser diminuída quando as extremidades da ponte são fixadas, diminuindo também a altura necessária do vão. Esse sistema estrutural em concreto armado é

interessante quando é necessário tornar a estrutura da ponte mais rígida e em situações nas quais a execução possa ser feita com o concreto armado feito in loco sem grandes empecilhos.

Com isso, fica claro a variação de pontes em concreto armado para cada tipo de projeto, isso demonstra a importância da composição e da análise que se deve fazer em cada tipo de situação.

3.2 Pontes em concreto protendido

Como é possível destacar anteriormente, por ser muito mais resistente a esforços de tração do que o concreto armado, o concreto com armaduras em protensão é uma opção ideal para obras de grande porte com carregamentos e vãos a serem vencidos de forma elevada, além de estruturas que estejam localizadas em locais mais agressivos, como pontes em contato com umidade e sais que tornam a agressão muito mais forte, o concreto protendido pode ser uma solução mais viável (MASON, 1977).

Por mais que o senso comum entre construtores pense que o concreto protendido possui um custo mais elevado do que o concreto armado, precisa-se entender que em certas ocasiões de obras com mais complexidade esse pensamento está completamente errado. Isso porque a construção de pontes como a Rio Pinheiros, em São Paulo, possui um vão a ser vencido de cerca de 15 metros, se caso o projeto utilizasse concreto armado na execução da laje, teríamos que aumentar a espessura e, conseqüentemente, a utilização do concreto. Além disso, segundo Hanai (1988) aumentando a quantidade de concreto, é visível o aumento do peso da estrutura que precisaria de um acréscimo de aço pelo peso própria que iria possuir no final, ou seja, o concreto protendido alcançava a resistência necessária com uma espessura bem menor do que em concreto armado.

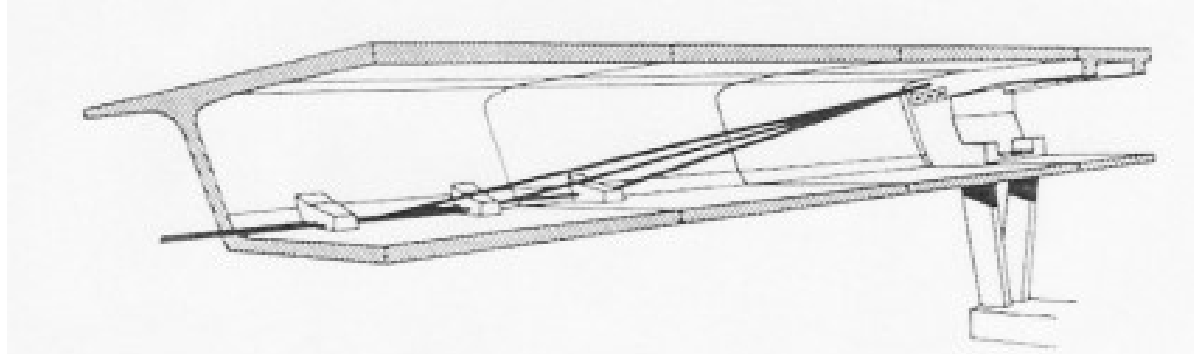
Diante disso, é importante destacar que em muitos casos o concreto protendido torna a construção de pontes mais econômica e viável. Durante a construção de pontes, o concreto protendido pode ser caracterizado pelo tipo de protensão que irá utilizar: sendo o pré-tração e o pós-tração. Como o próprio nome já destaca, o pré-tração é o tipo em que o processo de alongamento das armaduras é feito antes do concreto ser executado, nesse caso, assim que o processo é feito, o concreto é executado e as prensas hidráulicas são liberadas promovendo a compressão do concreto através da retenção das armaduras tentando retornar ao estado inicial (MASON, 1977).

Já a pós tração, muito utilizada nas pontes, é quando as peças em concreto são produzidas in loco e depois de endurecidas, são instaladas as prensas hidráulicas que promoveram o alongamento das armaduras presentes dentro das peças e comprimem o concreto. Mas não necessariamente as peças de concreto protendido precisam ser executadas no canteiro, assim como as peças pré-moldadas, as peças em concreto protendido podem ser usinadas fora da obra e por meio de equipamentos serem acopladas a estrutura da ponte. Esse tipo de execução das peças depende muito do projeto, do design da ponte, do local onde está sendo construída, do orçamento e de muitas outras variáveis que precisam ser consideradas na fase de planejamento para que a obra esteja dentro do que foi orçado e dentro do prazo mais rápido de finalização (BERNARDO, 1980).

Além disso, para o desenvolvimento de pontes mais robustas, há a possibilidade da utilização da protensão por meio de cabos externos, não somente do aço interno ao concreto. Esse tipo de prática leva o nome de protensão externa, entretanto, como sabe-se a utilização do aço no interior do concreto se dá por dois motivos: de acordo com Pfeil (1983) além do concreto se tornar mais resistentes, o próprio concreto protege o aço contra agentes externos que iriam degradar rapidamente a composição do aço. E o segundo motivo principal para dificuldade em trabalhar com protensão externa do aço em pontes de concreto, é a sua evidente corrosão pelo contato com o ar.

Por isso, as pontes atuais que utilizam de protensão externa ao concreto precisam de muita mais tecnologia para proteção das estruturas, como: tintas apropriadas, mantas, estruturas mais robustas e para realmente se mostrarem uma opção considerável, muitas pontes utilizam da mista composição entre protensão interna e externa (Figura 05), vencendo grandes vãos e tornando as estruturas muito mais leves do que em comparação com estruturas em concreto armado.

Figura 05 – Viga que possui protensão de cabos interna e externamente a sua estrutura.



Fonte: (SANTOS, 2006).

Porém, é interessante considerar a possibilidade de utilizar de vários tipos de protensão, para elaborar uma ponte com resistência maior em pontos mais críticos, pois as pontes em concreto armado também possuem grandes variações de estrutura, isso faz com que o projetista tenha a possibilidade de analisar os dois métodos construtivos e dentro desses métodos analisar as opções em concreto protendido para alcançar os objetivos necessários.

4. METODOLOGIA

Após o desenvolvimento de todo o artigo, deixa-se claro a importância do concreto e das construções relacionadas a obras capazes de facilitar atravessar grandes distâncias terrestres que não seriam possíveis sem a concepção de pontes sobre rios e mares. Com isso, foi possível também destacar as diferenças presentes na utilização do concreto armado e do concreto protendido em pontes de grandes distâncias. Entretanto, é essencial que seja feita uma análise dessas diferenças por meio de dados que possam direcionar nossos entendimentos para utilização com segurança da técnica construtiva que melhor se enquadra nas necessidades dos engenheiros.

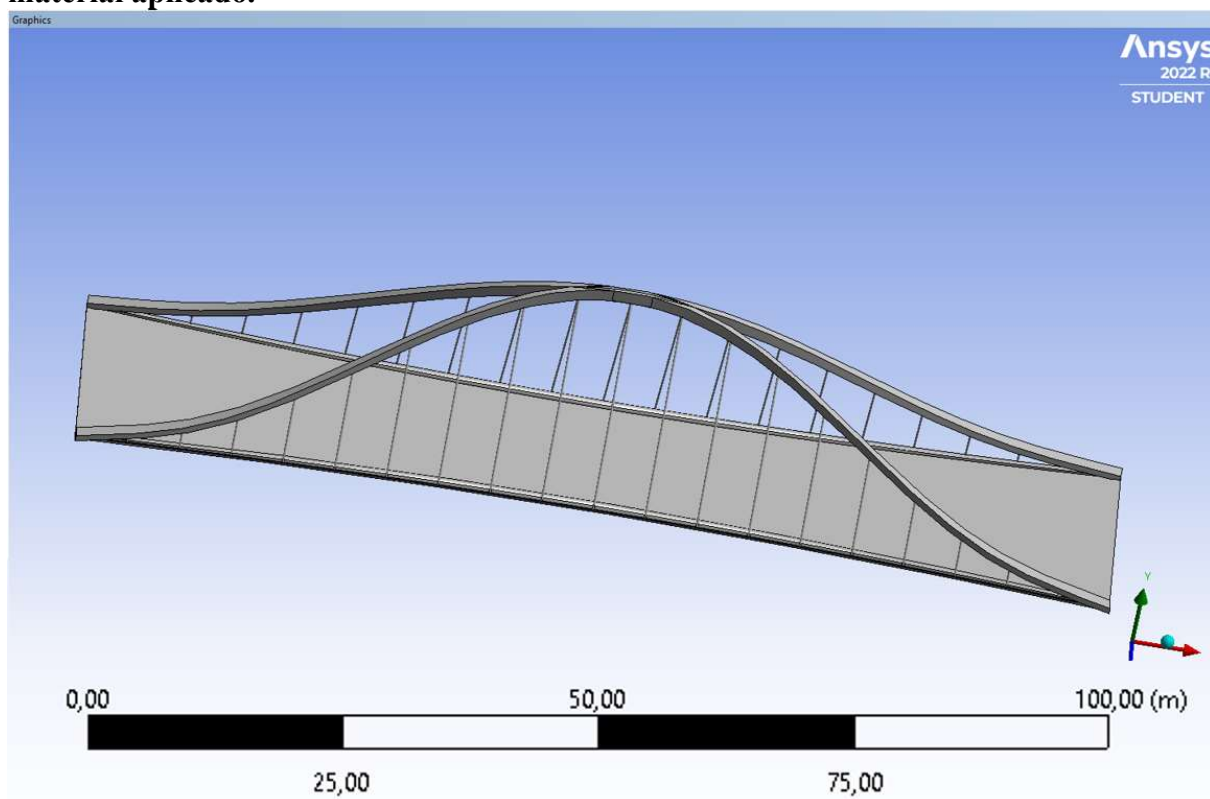
Para esse estudo mais aprofundado, foi utilizado o software ANSYS que é um programa de elementos finitos que pode ser utilizado nas mais diversas classes de problemas de engenharia. A capacidade do programa inclui várias ferramentas para resolver sete tipos de análises estruturais. Desde deformações, tensões, forças de reação até o deslocamento de nós e muitas outras funções que dependem também da forma como as cargas são aplicadas, a geometria da estrutura e o material utilizado.

Logo, utilizando da visualização dos dados encontrados nesse processo de desenvolvimento das deformações de uma peça, torna-se possível identificar resultados capazes de proporcionar um entendimento maior acerca das diferenças entre o concreto armado e concreto protendido.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

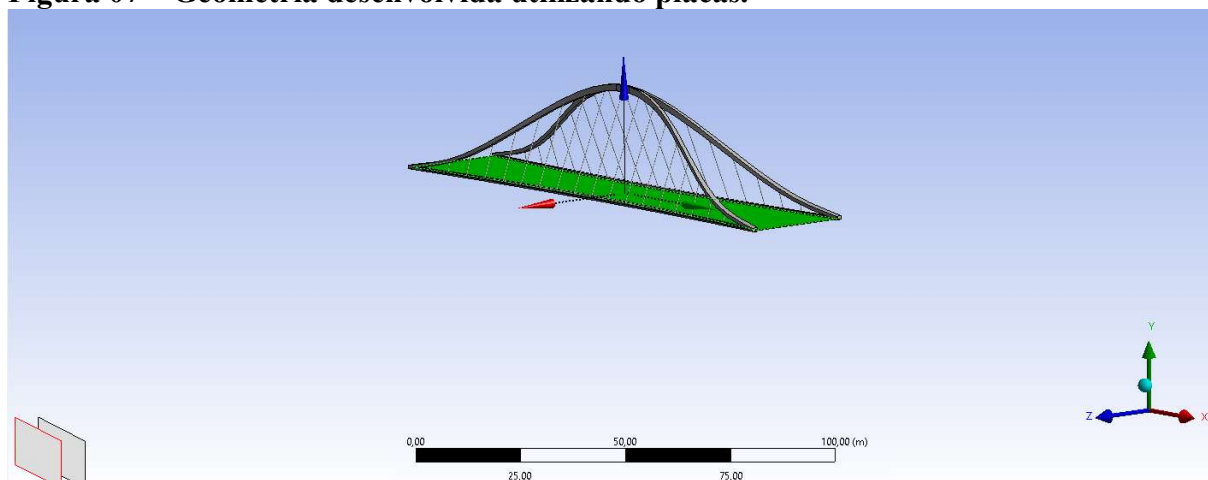
Com base no que foi descrito na metodologia anteriormente, foi projetado no software dois tipos de pontes, a fim de desenvolver com maior destreza todos os nossos questionamentos, foi utilizada a geometria de uma ponte em concreto e aço para demonstração, como mostram as figuras 06 e 07.

Figura 06 – Geometria desenvolvida para compreensão da deformação com base no material aplicado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 07 – Geometria desenvolvida utilizando placas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

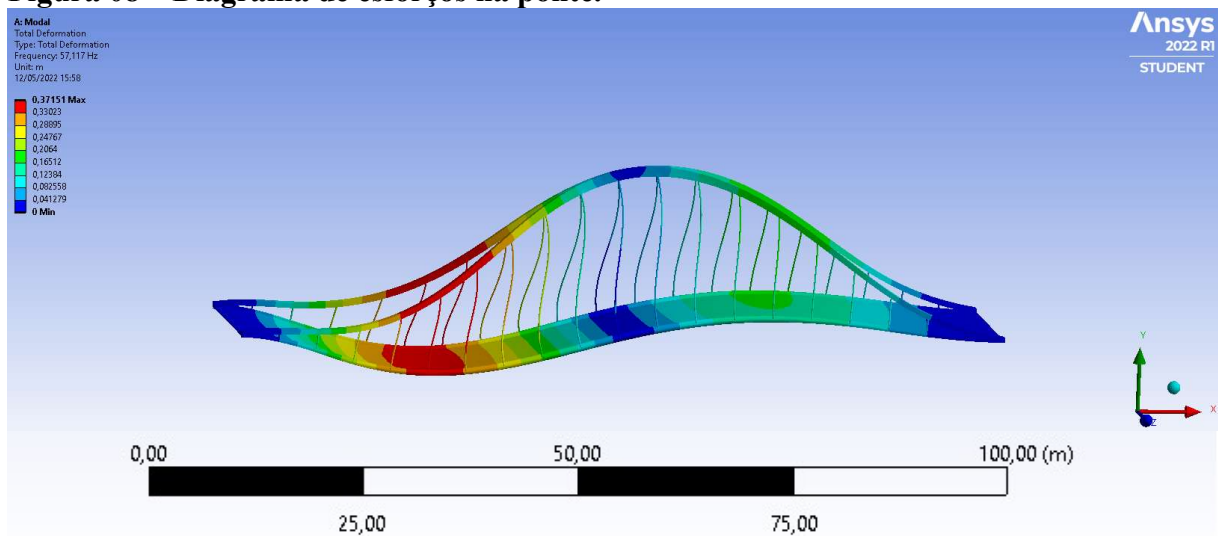
A geometria da ponte (Figura 06 e 07) foi feita de maneira aleatória, pois, o design não irá influenciar nos dados que precisamos para comparar a estrutura em concreto armado ou em

Vinícius Santana Marinho¹

concreto protendido, entretanto, é essencial destacar que o corpo da geometria utilizou de placas para possibilitar o processo de análise estrutural necessário para este trabalho. O mais importante é identificar o comportamento da estrutura quando adicionado um carregamento tendo como base dois métodos construtivos distintos.

Com isso, o primeiro passo para o entendimento completo desse comparativo foi identificar como o programa determina um diagrama de esforços (Figura 08):

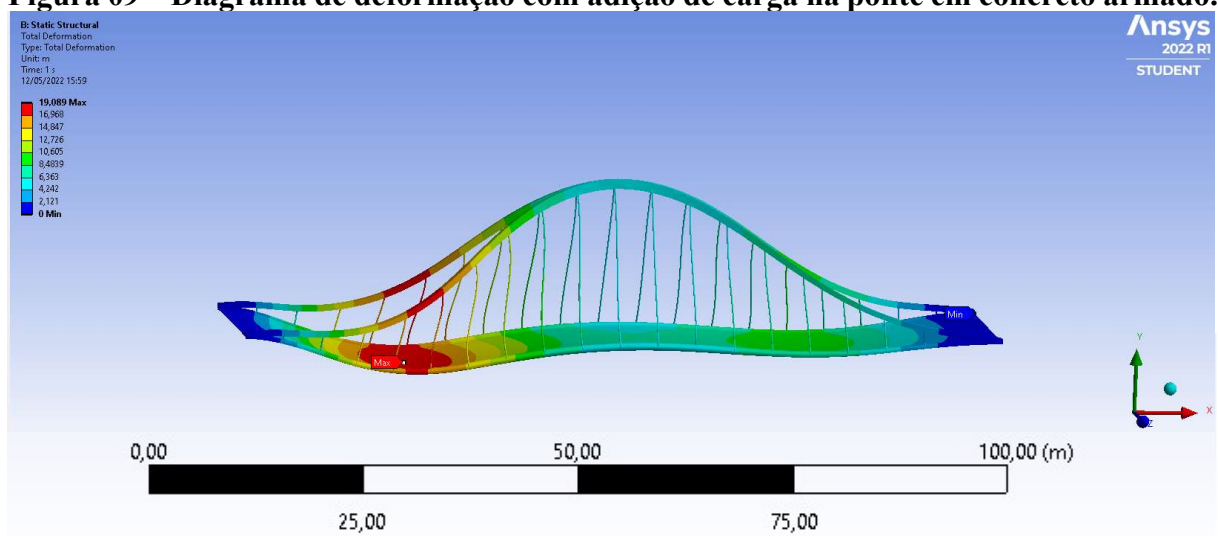
Figura 08 – Diagrama de esforços na ponte.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A partir do entendimento de que as cores demonstram os pontos máximos e mínimos de deformação, podemos agora adicionar um carregamento idêntico em dois momentos. O primeiro será a adição da carga na ponte em concreto armado e o outro será a adição da carga na ponte em concreto protendido (Figura 09):

Figura 09 – Diagrama de deformação com adição de carga na ponte em concreto armado.

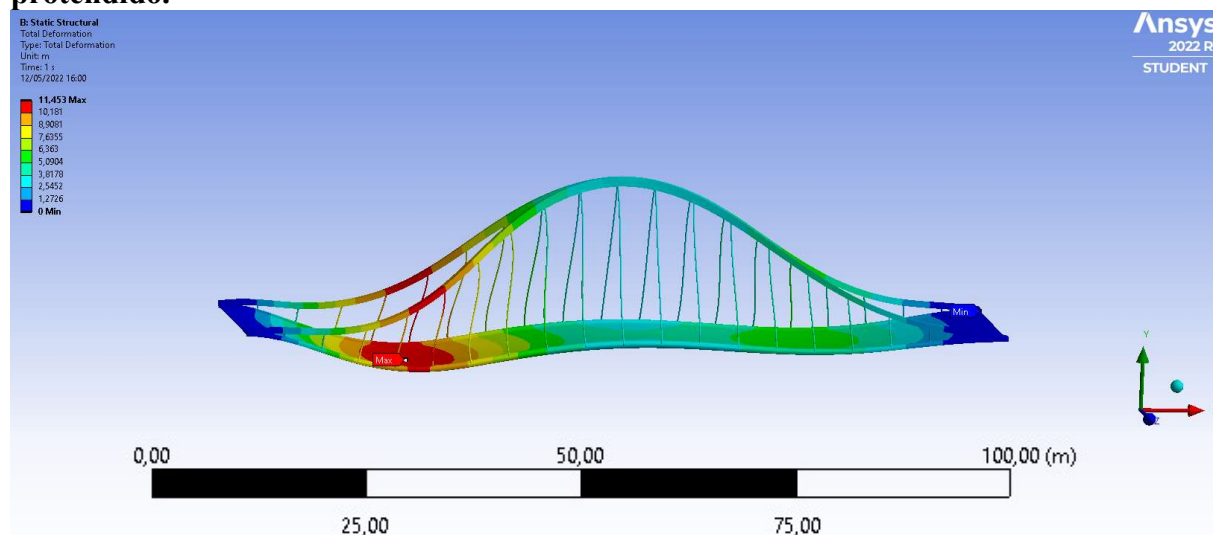


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A carga utilizada em ambas as pontes (Figura 09 e 10) foi de 100000N ou 100KN, o software ANSYS determina o esforço em Newtons, além disso, é importante ressaltar que esse

esforço foi aplicado de forma concentrada no ponto marcado como MÁX. Diante dessas informações, podemos compreender que a ponte em concreto armado (Figura 09) se deformou cerca de 19,01 metros no ponto onde a carga estava aplicada, esse foi a deformação máxima da ponte. Outra informação importante para destacar o teste é de que a ponte está sendo trabalhada como biapoiada, além disso, possui uma medida teórica de 100 metros de vão.

Figura 10 – Diagrama de deformação com adição de carga na ponte em concreto protendido.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O segundo teste foi feito diante das mesmas informações, entretanto, alteramos o material de composição para Concreto e Aço Protendido por meio de Cabos em sua estrutura interna (Figura 10). Esse método de protensão possibilitou que a ponte projetada no software tivesse uma deformação muito menor do que a ponte composta por Concreto e Aço sem protensão. Chegamos ao valor de deformação no ponto da carga de 100KN de no máximo 11,5 metros de deformação.

Durante a elaboração da geometria da ponte, devemos ressaltar que essa geometria se manteve em ambos os testes, além disso, os materiais utilizados não foram alterados, apenas o método de execução do aço no interior do concreto. Uma das pontes possui uma adição de aço simples e a outra com aço protendido (Figura 09 e 10).

Utilizando da mesma carga pontual na geometria da ponte, foi possível visualizar a diferença de deformação que cada ponte (utilizando materiais diferentes em sua composição) demonstrava em metros. A primeira ponte (Figura 09) gerada a partir dos dados apresentados nesse artigo demonstrou uma deformação de cerca de 19,1 metros no máximo da sua deformação, sendo evidenciada como a ponte composta de concreto e aço, sem nenhum tipo de alongamento pré ou pós concretagem.

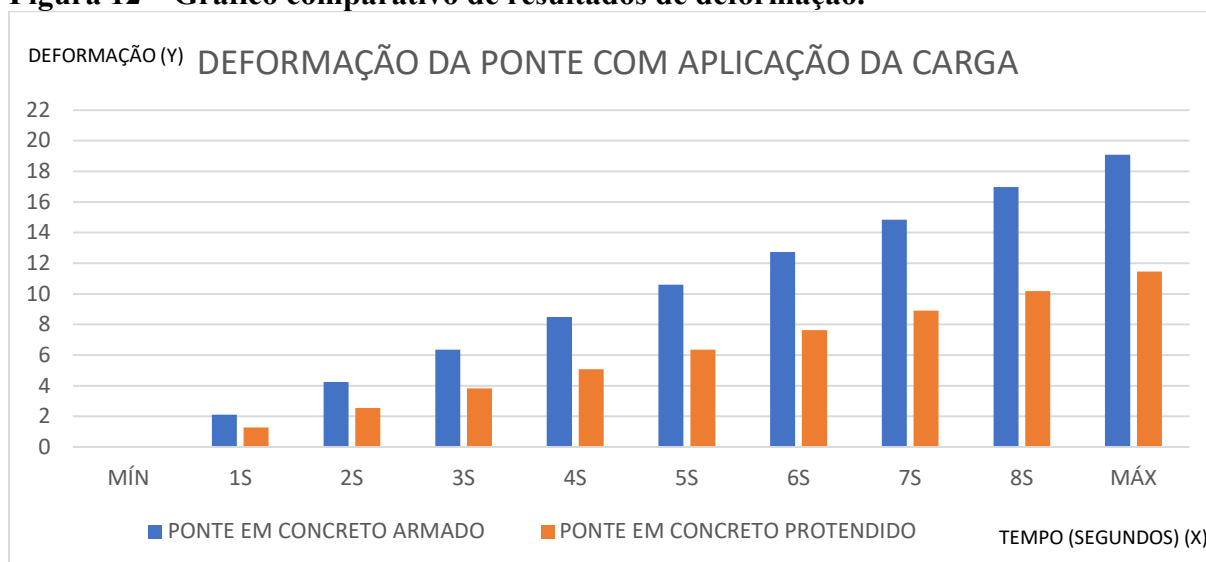
A segunda ponte (Figura 10) testada foi a ponte em concreto protendido, a mesma demonstrou uma deformação máxima muito menor do que a ponte em concreto armado simples, de acordo com o software, tivemos uma diminuição de deformação máxima de cerca de 45% comparado aos primeiros testes de 0 segundos a 9 segundos. São esses os dados fundamentais para determinar a conclusão acerca da relação ponte de concreto armado x ponte de concreto protendido (Figura 11 e 12).

Figura 11 – Tabela comparativa de resultados de deformação.

COMPARATIVO PONTE EM CONCRETO ARMADO X PONTE EM CONCRETO PROTENDIDO (DEFORMAÇÃO)										
VARIAÇÃO DA APLICAÇÃO DA CARGA DE 100KN	MÍN	1S	2S	3S	4S	5S	6S	7S	8S	MÁX
PONTE EM CONCRETO ARMADO	0	2,121	4,242	6,363	8,4839	10,605	12,726	14,847	16,968	19,089
PONTE EM CONCRETO PROTENDIDO	0	1,2726	2,5452	3,8178	5,0904	6,363	7,6355	8,9081	10,181	11,453

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 12 – Gráfico comparativo de resultados de deformação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

6. CONCLUSÕES

Com a utilização do Software ANSYS, somado com o embasamento teórico dos diversos pesquisadores referenciados nesse artigo, foi possível concluir que o concreto armado pode ser uma técnica construtiva muito eficaz para empreendimentos de pequeno e médio porte (em sua forma majoritária), e até mesmo em construções de grande porte em conjunto com muitas outras técnicas avançadas (diante do entendimento das deformações, apenas).

Diante disso, é importante ressaltar ainda mais a relevância atual do concreto protendido que possui, de acordo com os dados, uma capacidade muito maior de promover uma estrutura resistente e que diminui consideravelmente as deformações provenientes das cargas aplicadas verticalmente ao longo de toda a estrutura, principalmente quando citamos as obras que possuem uma complexidade muito maior.

Porém, isso não significa que se deve desconsiderar a importância das pontes em concreto armado, elas possuem uma variabilidade muito grande de formas para promover estruturas seguras e capazes de suportar carregamentos e alcançar os objetivos pela qual foram executadas.

Em construções como pontes que ligam cidades separadas por grandes mares é essencial que sejam analisados os métodos construtivos capazes de vencer os vãos com segurança e

também possam ser possíveis de acordo com a parte financeira, pois, em grandes obras, a diminuição de gastos na execução, por menores que sejam, fazem uma grande diferença quando finalizadas. São vários pontos que devem ser levados em consideração quando há o planejamento e a escolha dos métodos construtivos que mais se adequem as necessidades do cliente ou da empresa investidora, levando em consideração a segurança, a usabilidade e a estética por trás dessas grandes obras da engenharia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me proporcionar saúde e oportunidades para ingressar no curso de Engenharia Civil e de promover meu crescimento para chegar à etapa final ainda ofertando meu melhor. Em seguida, gostaria de agradecer de coração minha família, minha querida mãe que amo tanto e que sempre cuidou de mim, meu pai que me ensinou e ensina até hoje a ser uma pessoa melhor e a minha irmã que mostra como a vida ainda pode ser bonita, todos eles que sempre estiveram ao meu lado, dando apoio e ajudando em todos os âmbitos para que o sonho de me formar se tornasse cada dia mais possível. Por último, mas não menos importante, agradeço a minha orientadora professora Camila que revisou meu trabalho do início ao fim, ao professor Almir que mesmo saindo da instituição ainda é lembrado pela sua forma simples de ministrar as aulas e nos ensinar, aos meus colegas de curso, amigos próximos e futuros parceiros de profissão, sem vocês a trajetória seria muito mais difícil e, possivelmente, eu não estaria tão feliz em caminhar esse longo período para alcançar a tão sonhada formação profissional.

A todos, minha sincera gratidão!

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, R. O. A.; AGUIAR, E. A. B. **Determinação da Envoltória dos Esforços de uma Laje Protendida através de uma Metodologia Alternativa para Produzir Superfícies de Influência.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS, 9, Rio de Janeiro, Brasil. Anais [...] 2016.
- ALMEIDA, L. C. **Concreto.** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002, p. 03. Dis-ponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>>. Acesso em: 9 mai. 2022.
- BASTOS, P. S. dos S. **Fundamentos do concreto armado.** Bauru: UNESP, 2006.
- BERNARDO, GLAUCO. **Pontes.** 3 ed. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1980.
- BOTELHO, M. H. C. **Concreto armado, eu te amo, para arquitetos.** São Paulo: Edgard Blucher, 2006.
- Cavalcante, G. H. F. **Pontes em concreto armado: análise e dimensionamento.** São Paulo: Blucher, 2019.
- HANAI, J. B. de. **Fundamentos do Concreto Protendido.** Notas de aula. EESC-USP, São Carlos. 1988.
- IBRACON. **Prática recomendada IBRACON para estruturas de pequeno porte.** São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto: Comitê Técnico CT-301 Concreto Estrutural. 2001.
- LEONHARDT, F. **Construções de concreto: princípios básicos da construção de pontes de concreto** (Volume 6). Rio de Janeiro, Editora Intercilncia, 1979.
- MARCHETTI, O. **Pontes de Concreto Armado.** 1 Reimpressão 2009. Editora BLUCHER. 2008.
- MARTINELLI, D.A.O. **Introdução às pontes de vigas.** São Carlos, EESC-USP, 1971.
- MASON, J. (1977). **Pontes em Concreto armado e Protendido.** Livros técnicos e científicos editora S.A. Rio de Janeiro.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: PINI, 1994.
- PINHEIRO, L. M., GIONGO, J.S. **Concreto armado: propriedades dos materiais.** São Carlos, EESC-USP, Publicação 005 / 86. 79p. 1986.
- PINHEIRO, L. M. **Notas de aula da disciplina Estruturas de Concreto Armado I.** São Carlos, EESC-USP. 2010.
- PFEIL, W. **Pontes em Concreto Armado: elementos de projeto, solicitações, dimensionamentos.** Livros técnicos científicos editora S.A. Rio de Janeiro. 1979.

PFEIL, W. **Concreto protendido**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1980.

PFEIL, W. **Concreto protendido Vol. 2. Processos Construtivos/Perdas de Protensão**, 2^a. Ed., Livros Técnicos e Científicos Editora S/A. Rio de Janeiro. 1983.

RIPPER, T.; SOUZA, V. C. M. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

SANTOS, D. M. dos. **Comportamento estrutural de pontes com protensão no extradorso**. São Paulo, 132p. 2006.