



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RENNAN CAMPELO BESSA

**ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE UMA PASSARELA SOBRE A BR 110,
INTERLIGANDO OS CAMPUS LESTE E OESTE DA UFERSA – MOSSORÓ/RN.**

MOSSORÓ - RN

2023

RENNAN CAMPELO BESSA

**ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE UMA PASSARELA SOBRE A BR 110,
INTERLIGANDO OS CAMPUS LESTE E OESTE DA UFERSA – MOSSORÓ/RN.**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Gomes de Amorim Neto

MOSSORÓ - RN

2023

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

BB Bessa, Rennan Campelo.
577a Análise e dimensionamento de uma passarela
sobre a BR 110, interligando os campus Leste e
Oeste da UFERSA - Mossoró/RN / Rennan Campelo
Bessa. - 2023.
64 f. : il.

Orientador: Raimundo Gomes de Amorim Neto.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2023.

1. Passarela . 2. Análise estrutural. 3.
Segurança. 4. Estados Limites. I. Gomes de Amorim
Neto, Raimundo , orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RENNAN CAMPELO BESSA

**ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE UMA PASSARELA SOBRE A BR 110,
INTERLIGANDO OS CAMPUS LESTE E OESTE DA UFERSA –
MOSSORÓ/RN.**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 11 / 10 / 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **RAIMUNDO GOMES DE AMORIM NETO**
Data: 18/10/2023 08:59:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Raimundo Gomes de Amorim Neto (UFERSA)
Presidente e Orientador

Documento assinado digitalmente
 **VALMIRO QUEFREN GAMELEIRA NUNES**
Data: 18/10/2023 13:42:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Valmiro Quéfren Gameleira Nunes (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **CHRISTIANE MYLENA TAVARES DE MENEZES GA**
Data: 18/10/2023 13:47:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dra. Christiane Mylena Tavares de Menezes Gameleira (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me abençoar e proporcionar saúde, resiliência e perseverança em tudo que me proponho a fazer na minha vida.

Agradeço a minha família, por sempre estar ao meu lado e me apoiar durante todo o período de graduação, especialmente os meus amados pais, que me apoiam incondicionalmente e são fundamentais nessa longa caminhada.

Agradeço aos meus irmãos por todo o apoio, em especial a Luiz Bessa, que foi meu parceiro de graduação e sempre esteve me apoiando e me auxiliando.

Agradeço ao Prof. Dr. Raimundo Gomes de Amorim Neto, orientador deste trabalho, pela confiança depositada, pela paciência no desenvolvimento da pesquisa e por todas as contribuições que enriqueceram o trabalho.

Agradeço a todos os meus amigos, especialmente a Mateus Dutra Rocha, Juliana Pereira de Oliveira, Pedro Henrique Castro Pereira, Humberto Freire Dias Neto e Natan Kirley do Nascimento Xavier, por estarem comigo nas batalhas da graduação, e ainda os demais companheiros de curso que de alguma forma contribuíram para minha formação, mas que não estão aqui citados.

Agradeço a banca examinadora pelo aceite de avaliarem este trabalho e pelas contribuições ofertadas na defesa.

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Civil da UFERSA – Mossoró, que contribuíram na minha formação acadêmica, profissional e cidadã.

Por fim, agradeço a toda sociedade brasileira por proporcionar uma educação pública de qualidade, gratuita e pluralista.

Por isso, vos digo que tudo o que pedirdes em
oração, crede que o recebereis, e tê-lo-eis.

Marcos 11:24

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma proposta para análise e dimensionamento de uma passarela sobre a BR 110, interligando os campi Leste e Oeste da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA. A referida estrutura é composta por perfis retangulares, soldados, com exceção dos contraventamentos, os quais são laminados, do tipo cantoneira. O material estrutural escolhido é o aço A572 grade 50. Nas considerações de projeto foram respeitadas questões de acessibilidade, com implantação de rampas para os acessos, conforme preconiza a ABNT NBR 9050:2020 - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Além disso, foram previstos dispositivos de segurança para o tabuleiro da estrutura, como corrimãos e guarda-corpos, além de uma cobertura para a estrutura, de modo a reduzir os efeitos das intempéries sobre os pedestres. A passarela aqui proposta possui 250 m de extensão, sendo formada por dez módulos bi apoiados de 25 m de comprimento cada, interligando os campi Leste e Oeste da UFERSA, passando sobre a BR 110, com 5,5 m de altura, estando o acesso alocado na guarita do campus Oeste de modo a alcançar a fachada lateral da Central de Aulas III. Todo o projeto e análise da estrutura foi realizado no *software* Scia Engineer, em sua versão 22.1, com uso de uma licença estudantil concedida pela marca. Para a análise da estrutura em questão, o Scia Engineer utilizou o Método dos Elementos Finitos, o qual proporciona uma análise mais refinada, de modo que, para a análise, considerou-se o método dos estados limites último e de serviço. A estrutura analisada pelo Scia Engineer apresentou bom desempenho e respeito aos estados limites último e de serviço, de modo a gerar segurança e conforto aos usuários. No que diz respeito aos esforços axiais, o percentual máximo de utilização dos perfis submetidos à tração se manteve em 78 %, ao passo que os perfis comprimidos tiveram utilização máxima de 64 %. Os percentuais de utilização dos perfis corroboram a eficiência e segurança da estrutura.

Palavras-chave: Passarela; análise estrutural; segurança; Estados Limites.

ABSTRACT

This work presents a proposal for the analysis and design of a footbridge over BR 110, connecting the East and West campuses of the Federal Rural University of the Semi-Arid – UFRSA. Said structure is composed of rectangular profiles, welded, with the exception of the bracings, which are laminated, of the angle type. The structural material chosen is A572 grade 50 steel. In design considerations, accessibility issues were respected, with the implementation of ramps for access, as recommended by ABNT NBR 9050:2020 - Accessibility to buildings, furniture, spaces and urban equipment. Furthermore, safety devices were provided for the structure's deck, such as handrails and guardrails, as well as a cover for the structure, in order to reduce the effects of bad weather on pedestrians. The walkway proposed here is 250 m long, consisting of ten bi-supported modules of 25 m in length each, connecting the East and West campuses of UFRSA, passing over BR 110, 5.5 m high, with the accesses allocated in the guardhouse of the West campus and on the side facade of the Classroom Center III. The entire design and analysis of the structure was carried out using the Scia Engineer software, in version 22.1, using a student license granted by the brand. To analyze the structure in question, Scia Engineer used the finite element method, which provides a more refined analysis, so that, for the analysis, the ultimate and service limit states method was considered. The structure analyzed by Scia Engineer presented good performance and respected the ultimate and service limit states, in order to generate safety and comfort for users. With regard to axial forces, the maximum percentage of use of profiles subjected to tension remained at 78%, while compressed profiles had a maximum use of 64%. The percentages of use of the profiles corroborate the efficiency and safety of the structure.

Keywords: Walkway; structural analysis; security; Scia Engineer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ponte de Arkadiko - Grécia	16
Figura 2 - Passarela Bach Long Bridge.....	17
Figura 3 - Pérgola de madeira do Shopping Iguatemi	20
Figura 4 - Tipos de perfis mais utilizados nas estruturas	21
Figura 5 - Passarela Subjacente.....	22
Figura 6 - Passarela sobrejacente em Brasília	22
Figura 7 - Componentes de uma ponte.....	23
Figura 8 - Treliça plana e seus elementos	24
Figura 9 - Ponte arqueada.....	25
Figura 10 - Ponte Hercílio Luz.....	26
Figura 11 - Ponte Octávio Frias de Oliveira.....	26
Figura 12 - Ponte Tacoma Narrows – EUA	29
Figura 13 - Recomendações para rampas de acessibilidade.....	30
Figura 14 - Modelo de passarela norteador	31
Figura 15 - Localização do modelo norteador.....	32
Figura 16 - Modelo alterado da estrutura	33
Figura 17 - Passarela bi apoiada com 25 m de comprimento	34
Figura 18 - Replicação dos módulos da passarela.....	34
Figura 19 - Acessos à estrutura	36
Figura 20 - Ilustração do perfil do banzo superior	37
Figura 21 - Ilustração do perfil do banzo inferior	37
Figura 22 - Ilustração do perfil das diagonais e montantes	38
Figura 23 - Ilustração do perfil das transversinas superiores	38
Figura 24 - Ilustração do perfil das transversinas inferiores	39
Figura 25 - Ilustração do perfil dos contraventamentos	39
Figura 26 - Grid de linhas 3D da passarela	45
Figura 27 - Modelo em cores e com numeração	46
Figura 28 - Cargas de uso e ocupação + peso próprio das lajes	48
Figura 29 - Aplicação da carga excepcional na estrutura.....	49
Figura 30 - Painel de atuação do vento	50
Figura 31 - Cargas e coeficientes considerados no ELU-1	51
Figura 32 - Cargas e coeficientes considerados no ELU-2	52
Figura 33 - Cargas e coeficientes considerados no ELU-3	52
Figura 34 - Cargas e coeficientes considerados no ELU-4	53
Figura 35 - Cargas e coeficientes considerados na combinação da acidental	53
Figura 36 - Cargas e coeficientes considerados na combinação de serviço	54
Figura 37 - Classe de resultados – ELU.....	55
Figura 38 - Resultado do processamento global da estrutura.....	56
Figura 39 - Valores máximos das reações de apoio	57
Figura 40 - Deslocamentos nodais máximos na estrutura	57
Figura 41 - Deslocamentos tridimensionais	58
Figura 42 - Análise dinâmica de vibrações	61
Figura 43 - Relatório de materiais e custos	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Faixa de frequência vertical de vibrações	29
Quadro 2 - Ações permanentes atuantes na estrutura.....	47
Quadro 3 - Dimensionamento à tração.....	59
Quadro 4 - Dimensionamento à compressão.....	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Justificativas e relevância	15
1.2. Objetivo geral.....	15
1.3. Objetivos específicos.....	15
1.4. Abrangência do trabalho e limitações	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. Breve histórico sobre pontes e passarelas.....	16
2.2. Materiais construtivos das passarelas	17
2.2.1. Aços estruturais.....	18
2.2.2. Aços carbono.....	18
2.2.3. Aços de baixa-liga	19
2.2.4. Concreto	19
2.2.5. Madeira.....	20
2.2.6. Perfis de aço	20
2.3. Tipos de passarela.....	21
2.3.1. Subjacentes.....	21
2.3.2. Sobrejacentes	22
2.4. Elementos constituintes das passarelas	22
2.4.1. Superestrutura	23
2.4.2. Mesoestrutura.....	23
2.4.3. Infraestrutura.....	23
2.5. Sistemas estruturais das pontes e passarelas	24
2.5.1. Sistema treliçado.....	24
2.5.2. Sistema em arco	25
2.5.3. Sistema pênsil	25
2.6. Ações consideradas em projeto	26
2.6.1. Ações permanentes	27
2.6.2. Ações variáveis	27
2.6.3. Ações excepcionais.....	27
2.7. Vibração e fenômenos acústicos.....	27
2.7.1. Vibrações estáticas	28
2.7.2. Vibrações dinâmicas.....	28
2.7.3. Ressonância.....	28

2.7.4.	Faixas de risco – vibração	29
2.8.	Acessibilidade	29
3.	METODOLOGIA	31
3.1.	Considerações gerais	31
3.1.1.	Trabalho norteador	31
3.1.2.	Adaptações no modelo	32
3.1.3.	Sistema estrutural adotado	33
3.1.4.	<i>Software</i> escolhido para modelagem	33
3.1.5.	Vãos a vencer	35
3.1.6.	Largura da passarela	35
3.1.7.	Acessos.....	35
3.1.8.	Seções utilizadas para os elementos da estrutura	36
3.2.	Dimensionamentos considerados	40
3.2.1.	Dimensionamento à tração	40
3.2.1.1.	Esbeltez limite para elementos tracionados	41
3.2.2.	Dimensionamento à compressão	42
3.2.2.1.	Esbeltez limite para elementos comprimidos	44
4.	MODELAGEM DA ESTRUTURA	45
4.1.	Solicitações na estrutura	47
4.1.1.	Ações permanentes	47
4.1.2.	Ações variáveis	47
4.1.2.1.	Carga de movimentação ou uso.....	47
4.1.2.2.	Carga excepcional	48
4.1.2.3.	Carga devido ao vento	49
4.2.	Combinações de cargas	51
4.2.1.	Combinações últimas normais.....	51
4.2.2.	Combinação última excepcional	53
4.2.3.	Combinação de serviço quase permanente.....	53
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
5.1.	Classes de carga	55
5.2.	Processamento global da estrutura	55
5.3.	Reações de apoio e deslocamentos.....	56
5.3.1.	Reações nos apoios.....	56
5.3.2.	Deslocamentos nodais	57
5.3.3.	Deslocamentos tridimensionais - (Flecha da estrutura).....	58
5.3.3.1.	Verificação de deslocamento 3D máximo.....	58

5.4.	Dimensionamentos e verificações	59
5.4.1.	Dimensionamento à tração	59
5.4.2.	Dimensionamento à compressão	59
5.5.	Frequências naturais e ressonância.....	60
5.6.	Breve listagem de materiais e custos.....	61
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
	REFERÊNCIAS	64

1. INTRODUÇÃO

Desde a intensificação da Revolução Industrial no Brasil, especialmente a Revolução Técnico-Científica-Informacional, a partir de meados do século XX, vem ocorrendo avanços tecnológicos significativos no ramo industrial do país, especialmente no ramo automobilístico, o qual obteve notória ascensão com a possibilidade de automação dos sistemas produtivos e produção em massa de veículos. Em decorrência desse aumento da produção, a cada ano, cresce o número de veículos transitando nas rodovias do Brasil, ao passo que cresce também o número de pedestres, em decorrência do constante crescimento populacional.

O excesso de veículos transitando nas vias geram problemas para as pessoas que circulam a pé, visto que, na maioria das vias do país, não há meios adequados para que os pedestres possam caminhar em segurança. Nesse sentido, torna-se evidente a necessidade da elaboração de vias exclusivas com o intuito de assegurar o fluxo dos pedestres, separando-os do trânsito de veículos (VASCONCELOS, 1993). É pertinente destacar que a criação dessas vias irá proporcionar maior segurança e conforto aos pedestres, além de ajudar na melhoria da mobilidade urbana do local onde forem instaladas.

Inserido nesse contexto encontra-se a BR 110, localizada no município de Mossoró – RN, a qual serve de divisa entre os campus Leste e Oeste da UFERSA, é uma via que conduz ao centro da cidade, além de servir de ligação com os municípios vizinhos de Areia Branca e Serra do Mel, servindo de rota para pessoas que trabalham nesses municípios. A BR 110, embora seja munida de faixa de pedestres com semáforo de dois tempos, recebe um elevado fluxo de pedestres que transitam entre os campus Leste e Oeste da UFERSA e que disputam passagem entre os veículos que irão atravessar a via, intensificando a possibilidade de ocorrência de acidentes como colisões entre os automóveis e atropelamentos, que podem ser fatais.

Partindo da necessidade exposta, este trabalho apresenta uma proposta de análise e dimensionamento de uma passarela, interligando os Campus Leste e Oeste da UFERSA – Mossoró. De acordo com Graebin (2018), o projeto de uma passarela deve levar em consideração o conforto no deslocamento dos pedestres. Além disso, o projeto deve ser pensado de maneira a proporcionar segurança e gerar uma boa aceitação, visto que, se o mesmo não for bem aceito, poderá haver baixa adesão de utilização, limitando assim sua função primordial. Para suprir essa necessidade de aceitação, o projeto em questão visa locar a passarela no local exato onde se encontra atualmente a faixa de pedestres do km 110, de maneira a não aumentar o trajeto de percurso para cruzar a via e nem interpor obstáculos nessa tarefa.

1.1. Justificativas e relevância

Como já destacado, a BR 110 recebe diariamente um grande número de pedestres e veículos, proporcionando a ocorrência de acidentes, que são comuns nesta via. Alicerçado nessa perspectiva, considerando o fato de a Avenida Francisco Mota dividir os campus Leste e Oeste da UFERSA, considerando a necessidade de melhoria na mobilidade urbana da avenida e do município como um todo e considerando ainda a necessidade da geração de maior segurança aos pedestres que fazem a travessia da via, o trabalho em questão propõe o dimensionamento de uma passarela para intervir positivamente na situação exposta.

Com a realização da pesquisa aqui proposta, espera-se contribuir de forma significativa com a mobilidade urbana da via, reduzir o número de acidentes que ocorrem na mesma, além de proporcionar maior segurança aos pedestres na travessia entre os campus da UFERSA.

1.2. Objetivo geral

Dimensionar os perfis principais de uma passarela para circulação de pedestres, de forma a proporcionar segurança e garantir conforto aos mesmos.

1.3. Objetivos específicos

Os objetivos específicos estão assim constituídos:

- Estudo dos materiais que constituirão a estrutura;
- Idealizar uma concepção estrutural para a passarela;
- Dimensionar e verificar se os elementos estruturais resistem aos esforços solicitantes com segurança.

1.4. Abrangência do trabalho e limitações

Com objetivo de gerar maior simplificação no trabalho em questão, não serão avaliadas condições topográficas de projeto, não serão dimensionadas fundações para a estrutura, bem como não serão dimensionados elementos de ligação, tais como soldas, parafusos, pinos e similares. Não serão dimensionados os acessos da estrutura, pela norma brasileira de concreto, de modo que serão tão somente descritas suas características e apresentado um modelo do tipo de acesso a ser adotado. Além disso, não serão realizados quantitativos de custos de execução da estrutura aqui proposta. Por fim, não serão consideradas solicitações de natureza térmica no projeto da estrutura.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Breve histórico sobre pontes e passarelas

Desde as épocas mais remotas a humanidade se encontra em constante movimento, seja para obtenção de alimento para sobrevivência, seja para realização de demais atividades laborais. Por diversas vezes o ser humano primitivo viu a necessidade de transpor obstáculos para alcançar pontos que seriam inalcançáveis. Nesse sentido, de acordo com Franco (2015), os homens primitivos começaram a visualizar na natureza a possibilidade de transposição de obstáculos com o uso de, por exemplo, troncos de árvores caídas em decorrência das chuvas, e pedras. A partir deste momento surgiam as primeiras “pontes” para circulação do homem, as quais possibilitavam atingir locais mais distantes de forma prática e segura.

Depois que o ser humano primitivo visualizou a possibilidade de alcançar pontos distantes com a transposição de obstáculos, começou a aprimorar estas construções, com a utilização dos materiais disponíveis à época: madeira, pedras e, em alguns casos, cipós. Em seu trabalho, Franco (2015) destaca que os povos primitivos obtinham elevado sucesso nas suas construções pois eram exímios construtores nos sistemas estruturais de arco, sistema este que possibilita uma melhor distribuição dos esforços que solicitam as estruturas. Na Figura 1 é possível visualizar a Ponte de Arkadiko, na Grécia, exemplo de construção em arco que está de pé até os dias atuais.

Figura 1 - Ponte de Arkadiko - Grécia



Fonte: Blog Mdig (2021).

A ponte de Arkadiko está localizada na região de Peloponeso, na Grécia, sendo considerada uma das pontes mais antigas do mundo, construída em 1.300 a.C., com sistema de arco, que se mantém utilizável até a hodiernidade.

Com o decorrer do tempo, aliado ao avanço das técnicas construtivas e surgimento de novos materiais para construção, muito em decorrência da Revolução Industrial, a humanidade começou a desenvolver suas pontes de forma mais criteriosa, utilizando materiais mais

resistentes, como aço e concreto, além de técnicas construtivas mais modernas, o que possibilitou uma elevada ampliação da tecnologia empregada na construção destas obras de arte da engenharia.

A Revolução Industrial trouxe não somente o surgimento de novas tecnologias para a construção civil, mas também proporcionou um crescimento populacional acentuado, muito em função do êxodo dos camponeses para as cidades, em busca de melhores condições de vida FRANCO (2015). Mediante tais circunstâncias, defendendo a possibilidade de movimentação de veículos, começaram a ser construídas cada vez mais rodovias e ferrovias, de modo que, a partir deste momento, vislumbrou-se a necessidade de construção de passarelas, de modo a possibilitar a transposição de obstáculos artificiais criados pelo homem, de forma rápida e segura.

Mediante todo o avanço destacado, o homem tornou-se dominante na arte da construção de pontes e passarelas, de modo que, na Figura 2, visualiza-se a Bach Long Bridge, uma das maiores passarelas do mundo, localizada no Vietnã.

Figura 2 - Passarela Bach Long Bridge



Fonte: Revista Casa e Jardim Urbanismo (2023)

Além de servir para a transposição de obstáculos, as passarelas possuem um elevado potencial turístico, como é o caso desta destacada na Figura 2, muito em virtude de a mesma possuir o piso em vidro.

2.2. Materiais construtivos das passarelas

Como supracitado, as passarelas podem ser constituídas de diversos materiais, como a exemplo do aço, concreto, madeira, vidro e similares. Além disso, é válido ressaltar que as passarelas podem ser constituídas de forma mista, ou seja, por mais de um material, como é o

caso das estruturas de concreto e aço, muito comuns nos tempos modernos, muito em função das boas características destes materiais. Cada material deve ser selecionado de maneira planejada, de modo que, o conjunto destes, deve suportar as solicitações impostas à estrutura e garantir a segurança da mesma e dos transeuntes.

2.2.1. Aços estruturais

Os aços estruturais são ligas de ferro e carbono que são amplamente utilizadas na construção civil e em demais aplicações que necessitem de elevada resistência mecânica e durabilidade. Além disso, são elementos primordiais para construção de estruturas como edifícios, pontes, torres de transmissão, veículos e diversas outras infraestruturas.

De acordo com Nogueira (2013), os aços estruturais podem ser classificados de acordo com diferentes critérios, tais como a composição química e propriedades mecânicas. Em seu trabalho, Bellei (2010) destaca que os aços se dividem em duas classes ou grupos, a saber: aços carbono e aços de baixa-liga. É interessante destacar que cada grupo de aço supracitado possui suas próprias características e aplicações, as quais serão melhor abordadas no decorrer deste trabalho.

2.2.2. Aços carbono

No que se refere a este tipo de aço, o mesmo é composto principalmente por ferro e carbono, com teores de carbono geralmente não superiores a 2 %. O aço carbono pode conter pequenas quantidades de outros elementos de liga, como é o caso do manganês, responsável por proporcionar um ganho de resistência ao aço em sua forma bruta (CHIAVERINI, 2008). É importante salientar que as ligas empregadas no aço carbono possuem a função de melhorar alguma propriedade do mesmo, seja em questão de ductibilidade, seja em questão de soldabilidade ou outros.

O material estudado neste tópico é amplamente utilizado na fabricação de diversas estruturas e componentes, ou seja, o aço carbono é matéria prima para construção de edifícios, fabricação de tubulações e equipamentos industriais, além de possuir outras aplicações na indústria. De acordo com Imianowsky (2017), no Brasil, mais especificamente na indústria da construção civil, os aços carbono mais utilizados são o ASTM A-572 e ASTM A-36. O uso desses materiais na construção civil eleva o padrão de qualidade, resistência e durabilidade da estrutura construída, visto que os mesmos possuem boas características de resistência à corrosão, resistência às solicitações, boa soldabilidade, custo relativamente baixo e facilidade de fabricação, o que os tornam ainda mais atraentes. É oportuno mencionar, entretanto, que sua

resistência mecânica e demais propriedades específicas podem variar dependendo do teor de carbono e do processo de fabricação empregado.

2.2.3. Aços de baixa-liga

Os aços de baixa liga são aqueles que contêm uma pequena adição de outras ligas metálicas, tais como alumínio, molibdênio, silício, vanádio e similares, de modo que estas ligas possuem a função de melhorar propriedades do aço, como resistência mecânica, tenacidade e soldabilidade.

De acordo com Bellei (2010), o aço de baixa liga possui boas características de soldabilidade e elevada resistência, ainda que detenha baixos teores de carbono, os quais giram em torno de 0,20 %. Por possuir boas propriedades mecânicas, este tipo de aço é utilizado para diversas finalidades, desde a fabricação de estruturas metálicas, até a fabricação de automóveis. É interessante destacar que, no Brasil, para esta categoria de aço, os mais utilizados são o ASTM A572, A588 e A441.

2.2.4. Concreto

O concreto é um dos materiais de construção mais utilizado em todo o mundo devido à sua versatilidade, durabilidade e resistência. De acordo com Couto *et al.* (2013), o concreto é um elemento heterogêneo que possui em sua composição o cimento Portland, água e agregados como brita, areia e similares, podendo ser acrescentados outros elementos, os quais são chamados de aditivos.

Embora seja um material muito utilizado na construção civil, o concreto por si só não é suficiente para resistir aos diversos esforços atuantes nas estruturas. Em função disso, frequentemente, na construção civil, o concreto trabalha em conjunto com o aço, formando o que conhecemos como concreto armado. A junção de aço e concreto possibilita maior resistência aos esforços solicitantes e proporciona a resolução de vários problemas estruturais modernos complexos.

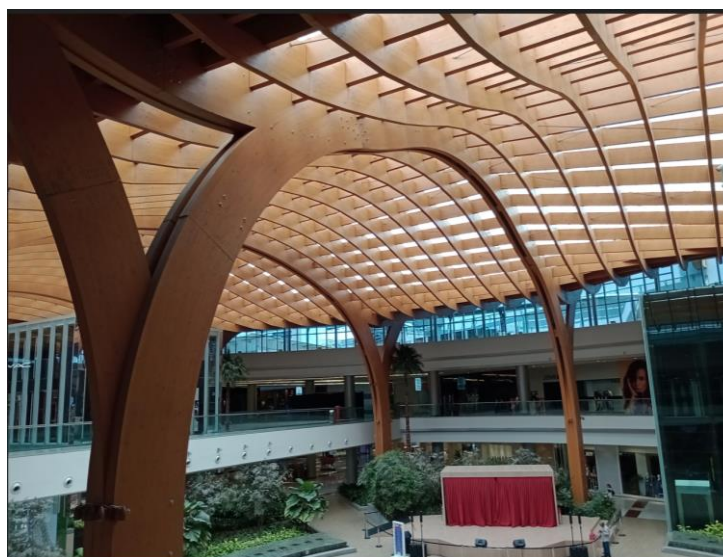
É válido destacar que, no Brasil, a ABNT NBR 6118, com última atualização em agosto de 2023, apresenta as diretrizes para os projetos de estruturas em concreto armado, de modo a garantir os requisitos de qualidade da estrutura, como durabilidade, vida útil da estrutura e conformidade de projeto.

2.2.5. Madeira

Utilizada desde os primórdios da existência humana, a madeira foi uma importante matéria-prima para a fabricação das estruturas das pontes primitivas, embora tenha perdido espaço após o advento e popularização de materiais mais resistentes, como a exemplo do aço.

Ainda que o aço e concreto se destaquem como principal material para fabricação de pontes e passarelas, algumas outras construções fazem o uso de madeiras especiais, como é o caso do pinho, cedro, teca, cumaru e similares. Esses tipos de madeira conferem à estrutura algumas características importantes, como leveza, durabilidade, sustentabilidade e, principalmente, estética. A Figura 3 ilustra uma aplicação de estrutura de madeira, a maior do Brasil, localizada na praça de alimentação do Shopping Iguatemi, em Fortaleza, capital cearense.

Figura 3 - Pérgola de madeira do Shopping Iguatemi



Fonte: Autoria própria (2023)

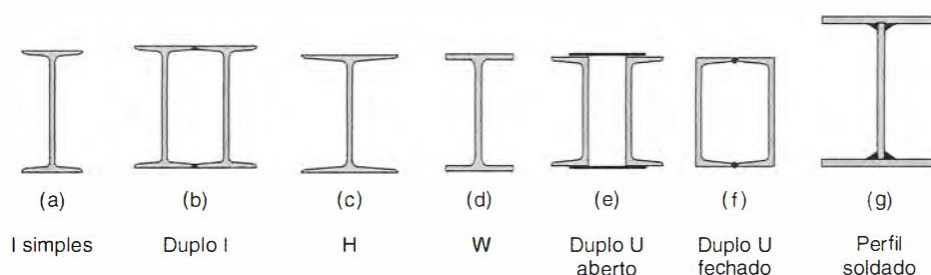
A estrutura ilustrada na Figura 3 proporciona um ambiente aconchegante e acolhedor aos visitantes, corroborando a importância desta matéria-prima na indústria da construção civil.

2.2.6. Perfis de aço

Os perfis de aço são componentes estruturais comumente utilizados na construção civil, indústria e demais aplicações. De acordo com Pfeil (2008), os perfis de aço apresentam boa resistência aos esforços solicitantes das estruturas, especialmente esforços de flexão. Por este motivo, em diversos casos, por exemplo, os perfis de aço são utilizados para reforços estruturais em estruturas de concreto armado com altas taxas de deformação, como é o caso de lajes.

É pertinente salientar que os perfis de aço possuem propriedades e resistências específicas, a depender do modo de fabricação dos mesmos (laminado ou conformado a frio), de modo que o perfil deve ser escolhido de acordo com a necessidade de cada projeto, baseando-se em dimensionamentos que se fizerem necessários. Na Figura 4 é possível observar alguns dos tipos de perfis mais utilizados.

Figura 4 - Tipos de perfis mais utilizados nas estruturas



Fonte: Pfeil (2008, p. 154)

2.3. Tipos de passarela

As passarelas possuem uma função comum: transpor obstáculos com segurança e agilidade. Entretanto, é interessante destacar que as mesmas possuem algumas diferenças e classificações, de acordo com sua forma de construção.

De acordo com o ISF-219: Projeto de Passarelas para Pedestres, do DNIT, estas estruturas são classificadas em dois tipos, a saber: subjacentes e sobrejacentes. Nos tópicos que se sucedem, serão abordados os tipos de passarelas aqui citados.

2.3.1. Subjacentes

O ISF-219: Projeto de Passarelas para Pedestres do DNIT, define que as passarelas subjacentes são aquelas em que o nível do seu tabuleiro se encontra acima ao nível da via de implantação. Em outras palavras, as passarelas subjacentes estão elevadas a uma certa altura em referência à via, de modo que permita a passagem de veículos por baixo das mesmas. Em seu trabalho, Almeida (2020) destaca que estas estruturas podem estar a céu aberto ou cobertas e podem ser constituídas de concreto, estruturas metálicas ou mistas – aço e concreto. Para melhor entendimento, a Figura 5 apresenta um exemplo de passarela do tipo subjacente, detalhada neste tópico.

Figura 5 - Passarela Subjacente



Fonte: Wasaki Engenharia (2021)

2.3.2. Sobrejacentes

As passarelas sobrejacentes, por sua vez, diferenciam-se das subjacentes pois são construídas em nível inferior à via que se deseja transpor. Embora seja tão eficiente quanto as passarelas subjacentes, esse tipo de estrutura é menos comum de ser observada no Brasil, haja vista o seu custo mais elevado de construção, com serviços adicionais de movimentação de terra e contenções. A Figura 6 ilustra a forma de disposição desse tipo de estrutura.

Figura 6 - Passarela sobrejacente em Brasília



Fonte: SLU – DF (2022)

2.4. Elementos constituintes das passarelas

As passarelas, em linhas gerais, são bem semelhantes às pontes, tanto na sua função de transpor objetos, quanto na sua constituição de elementos estruturais. De acordo com Pfeil (2008), as pontes são estruturas formadas pela junção de diversos materiais e possuem como principal função a transposição de obstáculos, sejam naturais, sejam artificiais.

Para que seja possível estudar e dimensionar estas estruturas, devido a sua complexidade, há a necessidade de fazer a divisão dos elementos constituintes das passarelas. Neste trabalho, por ser amplamente utilizada no Brasil, será adotado o entendimento de Pfeil

(2008), o qual destaca que as pontes / passarelas são compostas por três sistemas, a saber: Superestrutura, infraestrutura e mesoestrutura.

2.4.1. Superestrutura

Segundo Pfeil (2008), a superestrutura nada mais é do que a junção de elementos como banzos, transversinas, diagonais, contraventamentos e montantes (“esqueleto” da estrutura), além do tabuleiro, de modo que estes são responsáveis pelo recebimento direto das solicitações principais da estrutura.

2.4.2. Mesoestrutura

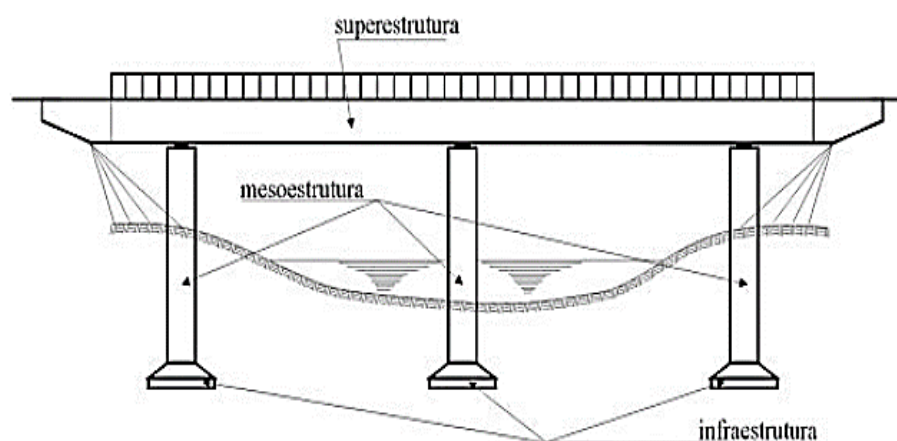
A mesoestrutura, por sua vez, constitui-se da junção entre a superestrutura e elementos de fundação, tais como pilares. Essa junção, por sua vez, será responsável por receber as cargas advindas da superestrutura e transmitir aos pilares.

2.4.3. Infraestrutura

A infraestrutura, por sua vez, é formada pelos elementos de fundação, como é o caso de estacas e tubulões (fundações profundas), ou, ainda, blocos, sapatas e sapatas associadas (fundações rasas). A função principal das fundações é receber as solicitações oriundas da superestrutura e transmiti-las de forma segura e eficiente ao solo, sem sofrer com elevados recalques.

Para uma melhor compreensão dos tópicos supracitados, a Figura 7 ilustra os componentes de uma ponte.

Figura 7 - Componentes de uma ponte



Fonte: Vitório (2015)

2.5. Sistemas estruturais das pontes e passarelas

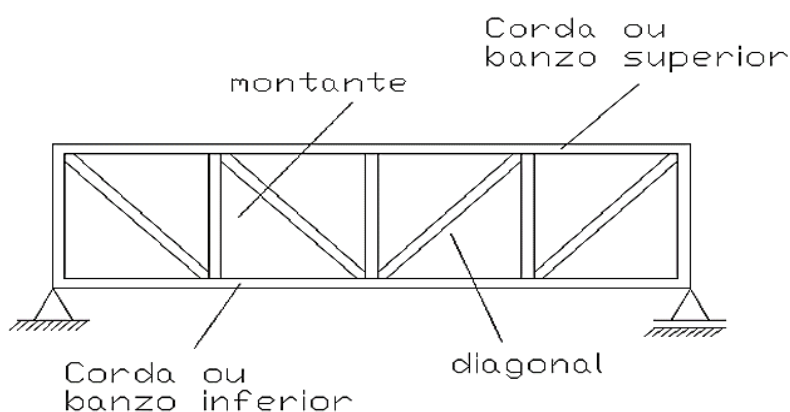
Responsáveis por proporcionar estabilidade ao conjunto da estrutura, os sistemas estruturais são fundamentais na construção de qualquer obra civil, sejam obras simples, como casas ou edifícios de poucos pavimentos, sejam obras de arte, como viadutos, pontes e passarelas. Em seu trabalho, Souza *et al.* (2008) relatam que sistemas estruturais são formados pela disposição racional e adequada dos diversos elementos estruturais. Os elementos estruturais, por sua vez, são vigas, pilares, pórticos, arcos e outros.

É pertinente destacar que os sistemas estruturais possuem particularidades e características muitas vezes distintas, o que os tornam apropriados para algumas situações e inapropriados ou muito onerosos para outras. Nessa senda, é fundamental que sejam estudados os sistemas estruturais e suas características, de modo a definir o que melhor se adequa a cada situação de projeto. Alicerçado nisso, os próximos tópicos deste trabalho abordarão alguns tipos mais comuns de sistema estrutural de pontes e passarelas.

2.5.1. Sistema treliçado

Comumente utilizadas na construção civil, as treliças são elementos que possuem boas características, tais como leveza, resistência, montagem rápida, estética e fácil manutenção. Em seu trabalho, Lima (2018) destaca que as treliças podem ser definidas como uma associação de elementos construtivos, como barras, cantoneiras e perfis, interligados entre si, sob forma de painéis triangulares, de modo que resistirão tão somente a esforços normais de tração e compressão. É interessante destacar que as treliças podem se apresentar em formato plano ou espacial, a depender da disposição dos seus elementos. A Figura 8 ilustra uma treliça do tipo plana, destacando seus elementos constituintes.

Figura 8 - Treliça plana e seus elementos



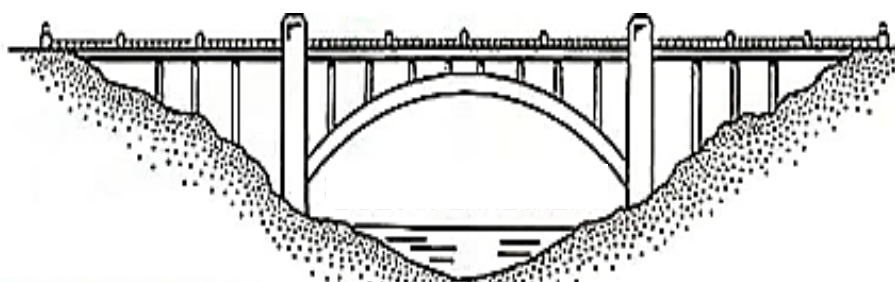
Fonte: Souza e Rodrigues (2008)

Cabe ressaltar que este sistema estrutural pode apresentar ainda alguns elementos adicionais, responsáveis pela estabilidade da estrutura, como é o caso de transversinas, contraventamentos e montantes.

2.5.2. Sistema em arco

Utilizado desde os primórdios da humanidade, o sistema construtivo com arcos apresenta-se como um dos mais tradicionais e eficientes, muito em função da sua excelente distribuição de esforços ao longo do caminho arqueado. De acordo com Souza e Rodrigues (2008), os arcos são elementos curvilíneos que apresentam um ponto central elevado e dois pontos inferiores. Pelo seu formato, os arcos naturalmente possuem elevada capacidade de resistência às solicitações, de modo que os mesmos são submetidos majoritariamente a esforços de compressão, ou, ainda, a esforços combinados de flexo-compressão. A Figura 9 mostra o formato do sistema de arco, aplicado a uma ponte.

Figura 9 - Ponte arqueada



Fonte: Souza e Rodrigues (2008)

O sistema de arco visualizado na Figura 9 está associado com demais elementos estruturais (torres de sustentação e montantes), de modo a gerar a estabilidade necessária à estrutura.

2.5.3. Sistema pênsil

O sistema estrutural pênsil, ou suspenso, diferencia-se dos demais supracitados devido ao fato do tabuleiro da superestrutura ser sustentado por cabos de aço, os quais estão submetidos majoritariamente à esforços de tração. Esse sistema estrutural é menos usual na engenharia civil, muito em função do seu elevado custo de execução e exigência de mão de obra especializada. Na maioria das vezes, as estruturas pênséis são utilizadas em coberturas de estádios de futebol e obras similares que necessitem de elevada resistência a esforços de tração. É válido destacar que os cabos desse tipo de estrutura podem ser dispostos de modo a formar

um modelo pênsil ou estaiado. As Figuras 10 e 11 ilustram, respectivamente, um modelo pênsil e estaiado de passarelas e pontes.

Figura 10 - Ponte Hercílio Luz



Fonte: Freitas (2019)

Figura 11 - Ponte Octávio Frias de Oliveira



Fonte: Souza (2012)

2.6. Ações consideradas em projeto

Em toda obra de engenharia é fundamental que sejam previstas, ainda em fase de projeto, as ações que irão atuar na estrutura. Nas pontes e passarelas, por sua vez, a definição destas ações se faz ainda mais importante, haja vista que, caso estas estruturas entrem em colapso, causarão consequências severas aos seus usuários e à sociedade como um todo.

De acordo com a ABNT NBR 6118:2023 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento, na fase de projeto estrutural deve ser considerada a influência de todas as ações que possam vir a produzir efeitos consideráveis para a instabilidade da estrutura em análise. Alicerçado nesta premissa, os projetos de engenharia consideram algumas ações que atuam diretamente na estrutura, seja de forma transitória, seja de forma duradoura.

Em seu texto, a ABNT NBR 8681:2003 - Ações e segurança nas estruturas – Procedimento, são definidas algumas classes de cargas que atuam nas estruturas, a saber: ações permanentes, ações variáveis e ações excepcionais. Como supracitado, a correta consideração destas ações é indispensável para a estabilidade e segurança das estruturas.

2.6.1. Ações permanentes

As ações permanentes, como o próprio nome sugere, são aquelas que atuam constantemente sobre a estrutura ou sistema ao longo de sua vida útil. Isso inclui o peso próprio da estrutura, o peso de elementos fixos (como paredes, lajes) e cargas permanentes como móveis e equipamentos permanentes.

2.6.2. Ações variáveis

De acordo com a ABNT NBR 8681:2003, as ações variáveis são aquelas que ocorrem com valores que apresentam variações significativas em torno de sua média, durante a vida da construção. Este tipo de ação pode atuar nas estruturas de variadas formas, como a exemplo de sobrecargas de uso e ocupação, ações térmicas e do vento.

2.6.3. Ações excepcionais

Em seu texto, a ABNT NBR 8681:2003, define que ações excepcionais são aquelas que possuem duração extremamente curta e baixíssima probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, mas que devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas. A consideração deste tipo de ação em estruturas do tipo pontes e passarelas é crucial, haja vista as consequências catastróficas oriundas do colapso total ou parcial destas.

De maneira análoga às ações supracitadas, cargas excepcionais podem se originar nas estruturas de diferentes formas, como é o caso de abalos sísmicos, explosões e colisão de veículos. Nas passarelas rodoviárias, especialmente por estarem localizadas às margens das rodovias, há uma elevação na probabilidade de ocorrência desse tipo de ação, especialmente nos seus pilares, o que redobra a cautela exigida nas considerações de projeto.

2.7. Vibração e fenômenos acústicos

A vibração em estruturas de pontes e passarelas é um fenômeno importante a ser considerado no projeto e na análise destas estruturas. Esse tipo de fenômeno pode ser causado por várias fontes e pode gerar impactos significativos na segurança, no conforto dos usuários e na estabilidade estrutural.

De acordo com a Norma Brasileira de Concreto, ABNT NBR 6118:2023, para se garantir um adequado comportamento de estruturas sujeitas a vibrações, deve-se afastar o máximo possível a frequência própria da estrutura (f) da frequência crítica (f_{crit}), que depende da destinação da respectiva edificação. A vibração nas estruturas pode ser analisada mediante dois cenários distintos, as vibrações estáticas e as vibrações dinâmicas.

2.7.1. Vibrações estáticas

Esse cenário de ocorrência abrange frequências relativamente baixas de vibração e pode ser ocasionada por ações mais simples como carga de uso ou cargas móveis. Esse tipo de faixa de frequência é capaz de ser sentido pelos usuários da estrutura e gerar desconforto. Por não gerar possibilidade de colapso total da estrutura, mas somente desconforto aos usuários, as vibrações estáticas são analisadas pelo ELS – Vibrações excessivas.

2.7.2. Vibrações dinâmicas

Essa categoria de fenômeno, por sua vez, compreende frequências elevadas de vibração, ou seja, são aquelas que possuem potencial de causar danos severos às estruturas. A partir das frequências dinâmicas, as estruturas passam a se comportar de maneira instável e não é segura sua utilização. Por ocasionar possibilidade de colapso parcial ou total, essa faixa de vibração é analisada normativamente pelo ELU.

2.7.3. Ressonância

De acordo com Souza e Santana (2019), a ressonância é um fenômeno que ocorre quando uma ação externa é aplicada a uma estrutura em frequência igual ou muito próxima à frequência natural de vibração dessa estrutura. Esse fenômeno pode levar a amplificações significativas das vibrações, resultando em oscilações cada vez mais intensas e potencialmente prejudiciais à estabilidade global da estrutura. Na Figura 12 é ilustrado um típico exemplo de ação da ressonância, na estrutura da Ponte Tacoma Narrows – EUA, que veio a colapso posteriormente.

Figura 12 - Ponte Tacoma Narrows – EUA



Fonte: Andrade (2019)

2.7.4. Faixas de risco – vibração

Estudos desenvolvidos ao longo dos anos permitiram obter um controle mais apurado sobre as frequências naturais dos materiais construtivos, de modo que se tornou possível a elaboração de faixas de risco de vibrações. No quadro 1, é ilustrado as faixas de risco de vibração de algumas normativas internacionais e da ABNT NBR 6118:2023, sendo esta última escolhida para a verificação de ressonância na estrutura desse trabalho.

Quadro 1 - Faixa de frequência vertical de vibrações

Norma de Referência	Faixa de Risco (Hz)
EUROCODE 0	< 5,0
EUROCODE 2	1,6 a 2,4
HIVOSS	1,25 a 4,5
NBR 6118:2023	> 4,5

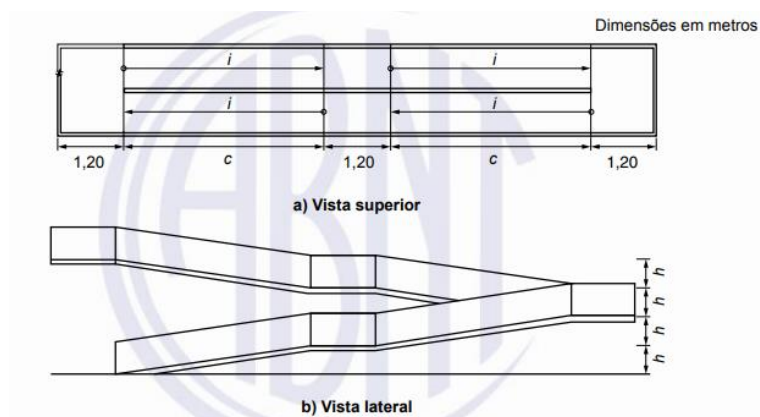
Fonte: Adaptado de Bellei (2010)

2.8. Acessibilidade

De acordo com a Lei Nº 13.146, de julho de 2015, do Estatuto da Pessoa com Deficiência, a acessibilidade refere-se à prática de tornar espaços físicos, serviços, tecnologias, produtos e informações acessíveis e utilizáveis por todas as pessoas, independentemente de suas capacidades físicas, sensoriais, cognitivas ou outras características individuais. O objetivo da acessibilidade é promover a inclusão e igualdade de oportunidades para todas as pessoas, incluindo aquelas com deficiências.

A acessibilidade em estruturas civis e edificações está muitas vezes relacionada à construção de elementos auxiliares de movimentação, como é o caso de elevadores e rampas, além do respeito a certas faixas de largura de acessos. Na Figura 13 a seguir é apresentado as recomendações normativas para rampas de acessibilidade.

Figura 13 - Recomendações para rampas de acessibilidade



Fonte: ABNT NBR 9050 (2020)

Além das rampas, em obras do tipo passarela, devem ser previstos dispositivos adicionais de proteção, como é o caso de corrimãos e guarda-corpo. No Brasil, as recomendações de acessibilidade em edificações são normalizadas pela ABNT NBR 9050:2020 - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.

3. METODOLOGIA

Doravante, serão descritos os procedimentos metodológicos utilizados nessa pesquisa. Serão explicadas as concepções iniciais de locação da passarela, acessos, normalizações utilizadas, cargas consideradas e quaisquer outras informações que sejam pertinentes ao bom entendimento do trabalho.

3.1. Considerações gerais

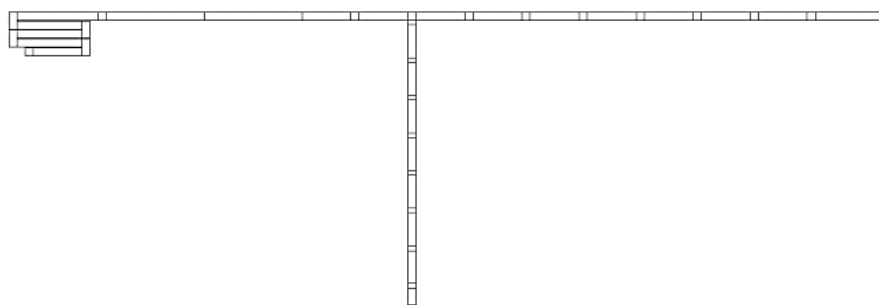
3.1.1. Trabalho norteador

Para o projeto da passarela descrita nesse trabalho, considerou-se como base para o modelo um trabalho existente, com algumas adequações. A pesquisa em questão é intitulada “Propostas para adequação da Avenida Francisco Mota na cidade de Mossoró/RN”, de autoria de Pedrosa (2016).

Utilizou-se como norteamto para esse trabalho um dos modelos de adequação proposto por Pedrosa (2016), mais especificamente o terceiro, com algumas alterações. O modelo proposto pela autora interliga a UFERSA entre os dois campis, tendo um acesso localizado do Prédio Central, campus oeste, e outro acesso localizado em frente à Biblioteca Orlando Teixeira, no campus Leste da instituição. Além disso, a proposta de Pedrosa (2016) prevê um acesso adicional para um terminal de ônibus.

A passarela proposta pela autora possui 270 m de vão entre os campis Leste e Oeste da UFERSA e, ainda, 88,50 m de vão para interligar à estrutura ao terminal de ônibus supracitado. Na Figura 14 é possível observar o modelo proposto pela autora:

Figura 14 - Modelo de passarela norteador



Fonte: Pedrosa (2016)

A Figura 15 a seguir ilustra a localização do modelo proposto por Pedrosa (2016)

Figura 15 - Localização do modelo norteador



Fonte: Pedrosa (2016)

Nos próximos tópicos serão destacadas as mudanças realizadas neste modelo base, bem como as concepções adotadas para o modelo deste trabalho. É interessante destacar que a pesquisa proposta por Pedrosa (2016) não realiza qualquer dimensionamento a respeito da estrutura da passarela, fazendo tão somente a proposição de um modelo, e especificações de acessibilidade.

3.1.2. Adaptações no modelo

Para efeitos de projeto, realizaram-se algumas alterações no modelo base. Inicialmente, eliminou-se o acesso que interliga à estrutura ao ponto de ônibus supracitado. Esse trecho possuía 88,50 m. Além disso, houve uma realocação da passarela do local originalmente proposto para outro local próximo, o qual será abordado mais adiante.

Realizou-se, ainda, uma redução no comprimento longitudinal total da estrutura, que passou de 270 m para 250 m. Essa readequação fez com que houvesse também a mudança nos acessos da passarela. Os acessos ficarão localizados na Guarita do Campus Oeste e na lateral da Central de Aulas III. A redução no comprimento se deu em virtude de uma limitação do *software* utilizado em realizar modelagens de até 250 m, em sua versão estudantil. É válido destacar, ainda, que a passarela irá possuir um acesso na guarita do campus Oeste da UFERSA. A estrutura irá iniciar com 5,5 m de altura, até ultrapassar a BR 110, e, então, os pilares serão ajustados para que a passarela chegue à Central de Aulas III no nível do terreno, sem necessitar

de um segundo acesso. Na Figura 16 é ilustrado o novo local onde será instalada a estrutura e o seu novo vão.

Figura 16 - Modelo alterado da estrutura



Fonte: Autoria própria (2023)

Para vencer a distância de 250 m, a passarela aqui proposta irá fazer uso de módulos de 25 m de vão, ou seja, serão no total dez módulos de 25 m, todos bi apoiados, de modo a gerar os 250 m ilustrado na Figura 16. É pertinente destacar que a ideia de utilizar módulos de 25 m se deve ao fato de o DNIT prever passarelas bi apoiadas, com 20 m, 25 m e 30 m.

3.1.3. Sistema estrutural adotado

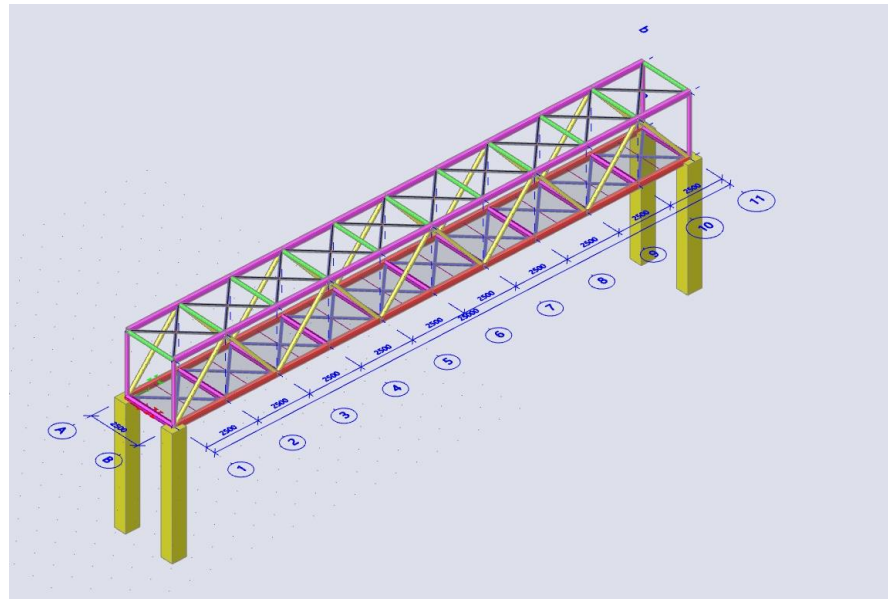
Para o projeto em questão, dentre os sistemas estruturais supracitados, foi escolhido o sistema treliçado. A escolha se deve a maior facilidade de execução desse sistema e, ainda, devido ao fato do mesmo ser o mais empregado em passarelas rodoviárias.

3.1.4. Software escolhido para modelagem

Para a modelagem estrutural da passarela foi utilizado o *software* Scia Engineer, em sua versão 22.1, com utilização de uma licença estudantil concedida pela marca. A ferramenta em questão foi escolhida devido a sua ampla capacidade de modelagem e facilidade de verificações de normas pertinentes ao assunto.

Com a ferramenta em mãos, construiu-se um módulo treliçado da estrutura, com 25 m de comprimento, o qual foi posteriormente replicado dez vezes para formar os 250 m requeridos. Na Figura 17 é possível visualizar o módulo base.

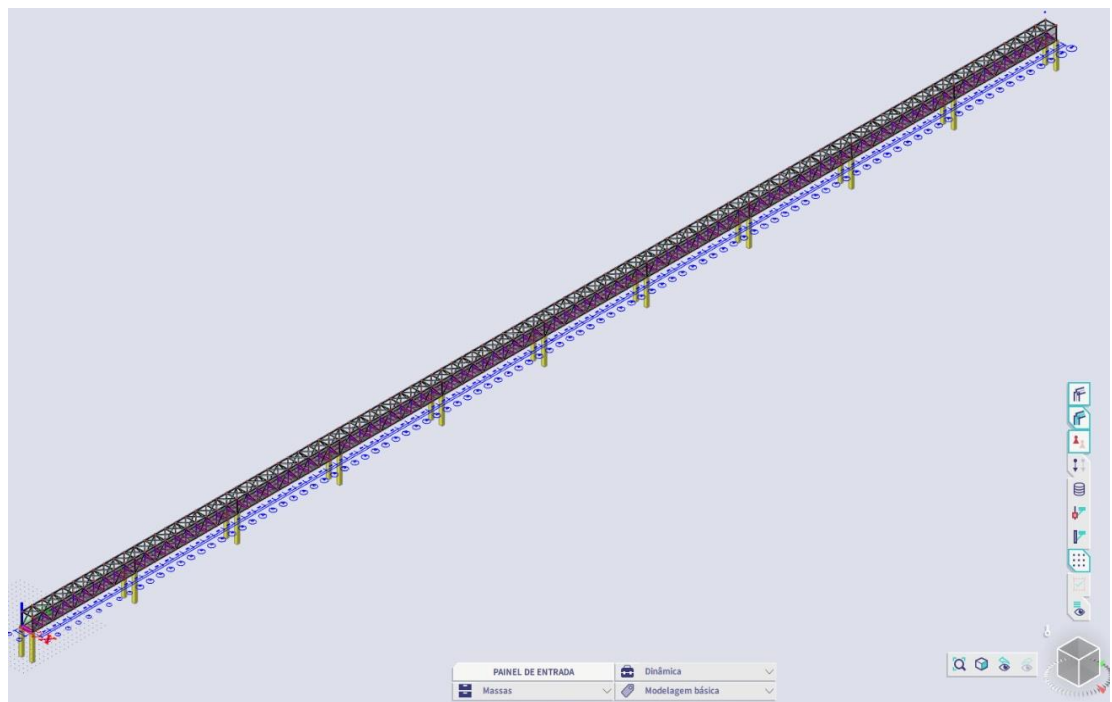
Figura 17 - Passarela bi apoiada com 25 m de comprimento



Fonte: Autoria própria (2023)

A Figura 18, por sua vez, ilustra os dez módulos replicados, perfazendo os 250 m de distância a ser vencido.

Figura 18 - Replicação dos módulos da passarela



Fonte: Autoria própria (2023)

É pertinente salientar que os pilares ilustrados nas Figuras 17 e 18 possuem dimensões 70 cm x 60 cm, mas não serão dimensionados estruturalmente, como forma de simplificação das análises realizadas na presente pesquisa, conforme descrito no tópico 1.4.

3.1.5. Vãos a vencer

A estrutura da passarela terá 250 m de comprimento. Dentre este valor estão inclusos 15 m de largura da rodovia considerada. O projeto é composto por módulos de 25 m de vão, contendo um conjunto de dois pilares como apoios e os acessos na extremidades. Além disso, a estrutura irá possuir uma altura livre de 5,50 m, conforme recomendação do DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

3.1.6. Largura da passarela

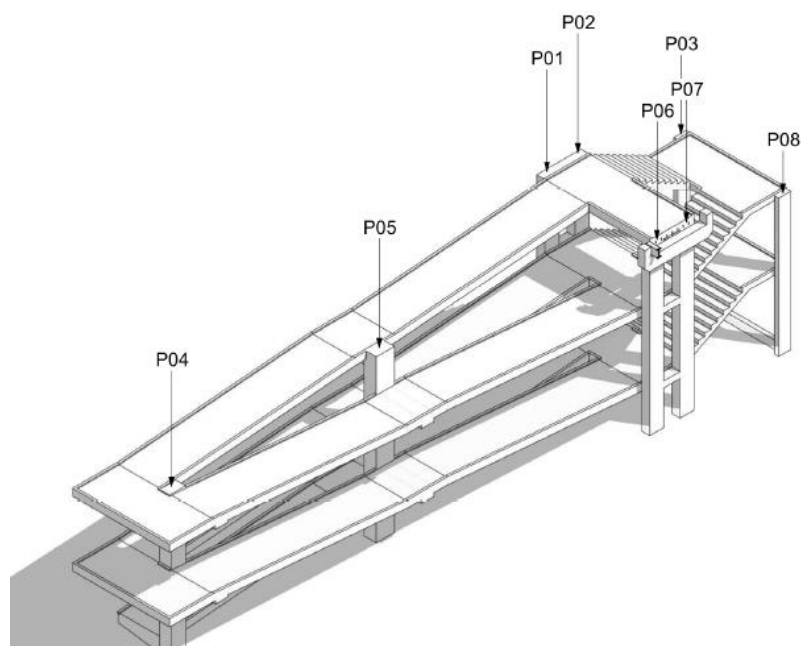
A largura do tabuleiro da passarela desse projeto foi definida de modo a respeitar as recomendações da Norma Brasileira de Acessibilidade, a ABNT NBR 9050:2020- Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. A referida Norma, bem como a ISF 219 do DNIT, possui o consenso de que a largura mínima para passarela de pedestres deve ser 2,0 m. No projeto em questão, foi adotada uma largura de 2,5 m, sendo esta suficiente para comportar o trânsito de pedestres nos dois sentidos de fluxo da estrutura.

3.1.7. Acessos

Para o acesso à estrutura de forma eficiente e segura, foram considerados sistemas de acesso do tipo rampas e escadas. As rampas, além de serem uma ótima opção de acesso, por não exigirem muito esforço dos pedestres, respeita aspectos de acessibilidade exigidos pela ABNT NBR 5090:2020 - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.

Os acessos da passarela desse trabalho são compostos por cinco lances de rampas com inclinação de 5 % em cada lance, de forma a alcançar o topo da estrutura, localizado a 5,50 m de altura. A largura dos acessos será 2,5 m, de modo a permitir o fluxo de pedestres saindo e entrando na estrutura. Para evitar fadiga nos usuários, os acessos são dotados de dez patamares, distribuídos em pontos estratégicos de cada lance de rampa. Além das rampas, foram consideradas escadas para aqueles que desejem utilizar esse modo de acesso. As escadas, por sua vez, possuem também cinco lances, com uma altura de degrau de 18 cm, de modo a alcançar os 5,5 m de altura. A Figura 19 ilustra o modelo dos acessos utilizados.

Figura 19 - Acessos à estrutura

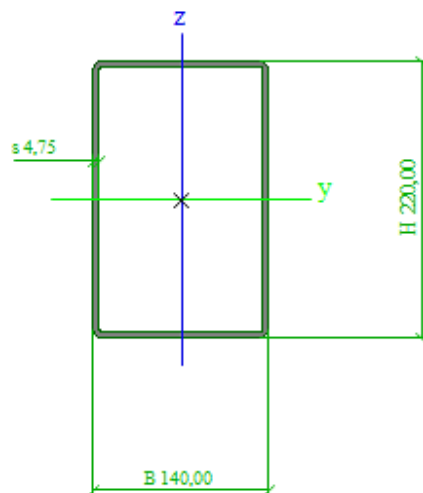


Fonte: Modelo DNIT (2020)

3.1.8. Seções utilizadas para os elementos da estrutura

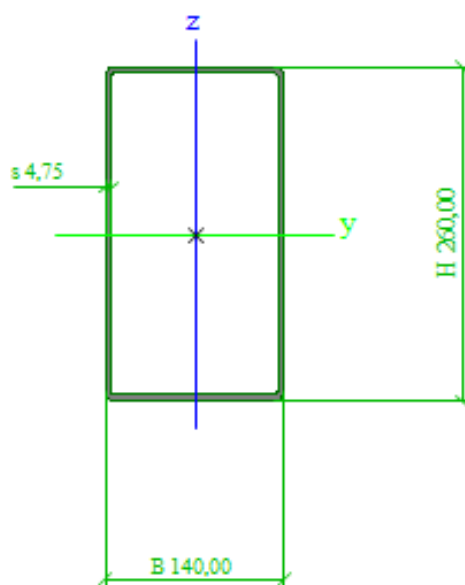
Para os banzos superior e inferior da estrutura foram utilizados perfis do tipo retangular, de paredes finas, do tipo soldado, fabricados em aço A572 grade 50. Embora seja um aço pouco utilizado na região Nordeste, o A 572 grade 50 foi escolhido devido a sua resistência ao escoamento (f_{yk}) mais elevada, se comparada à resistência do aço A 36. Além disso, o valor de aquisição do A 572 grade 50 é similar ao do aço A 36. Para o banzo superior da estrutura, o perfil adotado possui dimensões de 22 cm x 14 cm, ao passo que, para o banzo inferior, o perfil possui dimensões 26 cm x 14 cm. A mudança nas dimensões do perfil se justifica pelo fato de o banzo inferior se encontrar mais solicitado se comparado ao superior. As Figuras 20 e 21 ilustram, respectivamente, o perfil do banzo superior e o perfil do banzo inferior da passarela.

Figura 20 - Ilustração do perfil do banzo superior



Fonte: Autoria própria (2023)

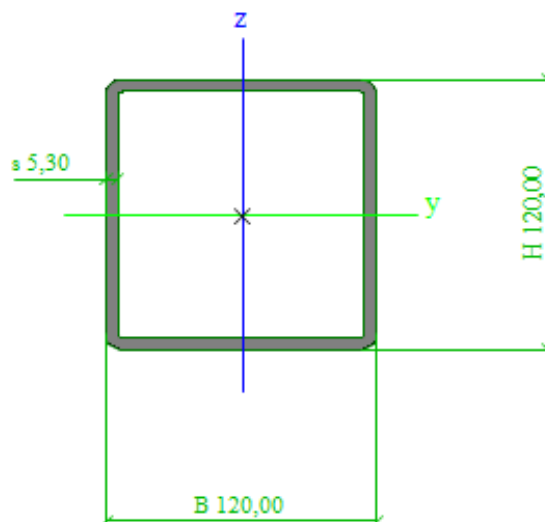
Figura 21 - Ilustração do perfil do banzo inferior



Fonte: Autoria própria (2023)

Para as diagonais e montantes da estrutura, de maneira análoga aos banzos, foi utilizado um perfil do tipo retangular, de parede fina, soldado, fabricado em aço A572 grade 50, com dimensões de 12 cm x 12 cm. A Figura 22 ilustra o perfil das diagonais e montantes.

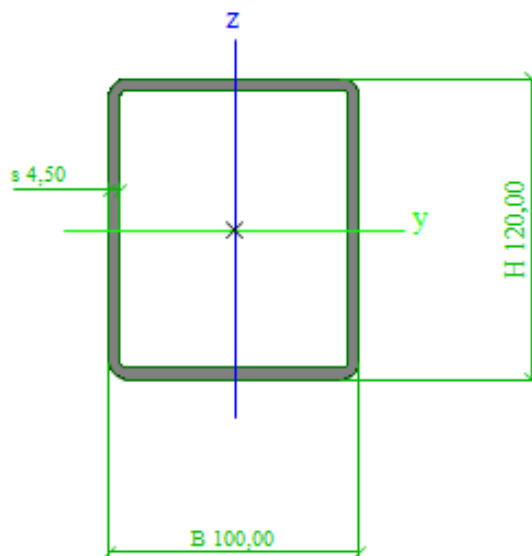
Figura 22 - Ilustração do perfil das diagonais e montantes



Fonte: Autoria própria (2023)

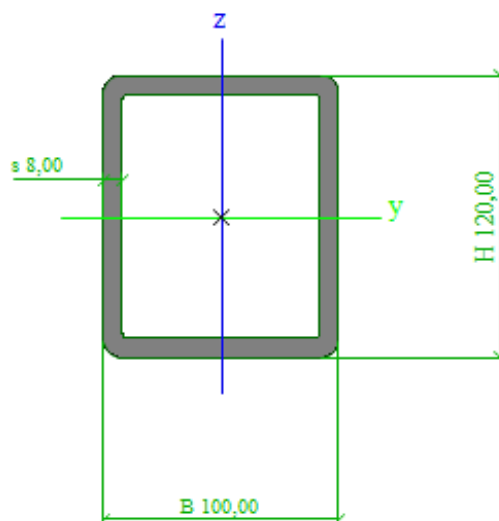
Para as transversinas da estrutura, o tipo de perfil, tipo de parede e material de fabricação foram os mesmos dos elementos supracitados. As dimensões destes elementos, por sua vez, foram 12 cm x 10 cm. É válido destacar que, assim como nos banzos, as transversinas inferiores estarão mais solicitadas que as superiores, de modo que, para compensar essa diferença, optou-se por usar uma espessura de parede de 8,0 mm para as transversinas inferiores e de 4,5 mm para as transversinas superiores. As Figuras 23 e 24 ilustram, respectivamente, o perfil das transversinas superiores e inferiores da estrutura.

Figura 23 - Ilustração do perfil das transversinas superiores



Fonte: Autoria própria (2023)

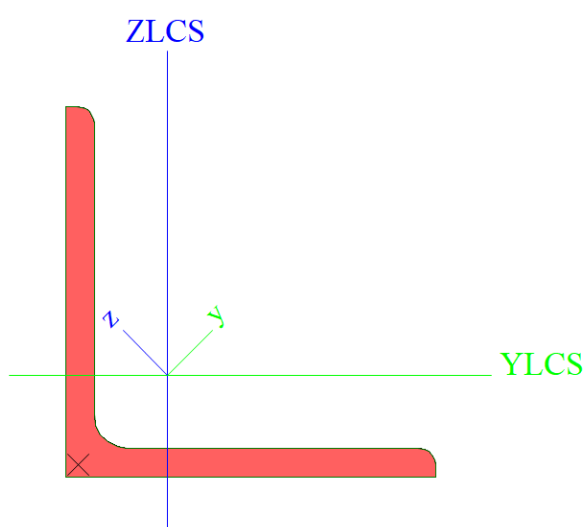
Figura 24 - Ilustração do perfil das transversinas inferiores



Fonte: Autoria própria (2023)

No que diz respeito aos contraventamentos da estrutura, há algumas diferenças na seção adotada. Para esses elementos utilizou-se uma cantoneira L 102 x 7,9, laminada a quente, de abas iguais, fabricada em aço A572 grade 50. É relevante destacar que o perfil utilizado nos contraventamentos é descrito pela ABNT NBR 15980:2020 – Perfis laminados de aço para uso estrutural – Dimensões e tolerâncias. O perfil dos contraventamentos está representado na Figura 25:

Figura 25 - Ilustração do perfil dos contraventamentos



Fonte: Autoria própria (2023)

Já os pilares da estrutura, os quais não serão dimensionados estruturalmente, possuem seção retangular, são fabricados em concreto C30, com parede espessa e dimensões de 70 cm x 60 cm.

É importante ressaltar que nas figuras 20 a 25, as dimensões dos perfis são dadas em milímetros (mm), visto que, para projetos em aço, esta é a unidade indicada para trabalho.

3.2. Dimensionamentos considerados

Por se tratar de uma passarela do tipo treliçada, o modelo deste projeto deverá ser dimensionado a esforços axiais de tração e compressão, visto que são estas as solicitações que as treliças estão submetidas. Para tais dimensionamentos o Scia Engineer irá considerar os procedimentos de cálculo prescritos pela ABNT NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

3.2.1. Dimensionamento à tração

De acordo com a ABNT NBR 8800:2008, em perfis submetidos à tração, deve ser respeitado o critério ilustrado em (1):

$$N_{t,Rd} \geq N_{t,Sd} \quad (1)$$

Em outras palavras, os esforços resistentes de cálculo de tração dos elementos devem ser superiores ou iguais aos esforços solicitantes de tração, de modo a garantir a estabilidade da estrutura analisada.

A Norma supracitada define ainda que os esforços resistentes de cálculo a serem utilizados nos dimensionamentos devem ser o menor valor entre o escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida, representados, respectivamente, nas equações (2) e (3):

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (2)$$

$$N_{t,Rd} = \frac{C_t \cdot A_n \cdot f_u}{\gamma_{a2}} \quad (3)$$

Onde:

A_g : Área bruta da seção da barra;

A_n : Área líquida da seção da barra;

C_t : Coeficiente de redução da área líquida;

f_y : Tensão de escoamento do aço;

f_u : Tensão de ruptura do aço;

γ_{a1} e γ_{a2} : Coeficientes relacionados a combinação de cargas.

No caso de perfis soldados, considerando que os mesmos serão ligados por soldas transversais, o coeficiente de redução da área líquida será dado pela equação (4):

$$C_t = \frac{A_c}{A_g} \quad (4)$$

Onde:

A_c : Área da seção transversal dos elementos soldados;

A_g : Área bruta da seção transversal da chapa.

Em outros tipos de solda, C_t varia de acordo com a relação entre o comprimento da solda, (l_w) e a largura da chapa (b), da seguinte forma:

$$C_t = 1 \text{ se } l_w \geq 2b ;$$

$$C_t = 0,87 \text{ se } 1,5b \leq l_w \leq 2b;$$

$$C_t = 0,75 \text{ se } b \leq l_w \leq 1,5b.$$

3.2.1.1. Esbeltez limite para elementos tracionados

No que diz respeito ao índice de esbeltez de elementos tracionados, a ABNT NBR 8800:2008 recomenda que este seja menor ou igual a 300. Para determinação desse índice, utiliza-se a equação (5):

$$\lambda = \frac{l}{r} \leq 300 \quad (5)$$

Onde:

λ : Índice de esbeltez;

l : Comprimento destravado;

r : Raio de giração.

3.2.2. Dimensionamento à compressão

Ainda segundo a ABNT NBR 8800:2008, e, de maneira análoga aos elementos tracionados, os elementos comprimidos devem respeitar a seguinte premissa:

$$N_{c,Rd} \geq N_{c,Sd} \quad (6)$$

Em outras palavras, os esforços resistentes de cálculo de compressão dos elementos devem ser superiores ou iguais aos esforços solicitantes de compressão, de modo a garantir a estabilidade da estrutura analisada.

Os esforços resistentes de compressão de cálculo, por sua vez, podem ser determinados pela equação (7):

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (7)$$

Onde:

χ : Fator de redução de resistência associado à instabilidade global;

A_g : Área bruta da seção transversal da barra;

Q : Fator de redução associado à flambagem local;

f_y : Tensão de escoamento do aço;

γ_{a1} : Coeficiente associado à combinação de cargas.

O coeficiente de redução “Q”, presente na equação (7), por sua vez, é determinado a partir da equação (8):

$$Q = Q_s \cdot Q_a \quad (8)$$

O fator de redução associado à compressão (χ), por sua vez, é encontrado respeitando as disposições das equações (9) e (10):

$$\lambda_0 \leq 1,5 \rightarrow \chi = 0,658^{\lambda_0^2} \quad (9)$$

$$\lambda_0 \geq 1,5 \rightarrow \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \quad (10)$$

Nas equações (9) e (10), λ_0 representa o índice de esbeltez reduzido, sendo determinado pela equação (11):

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}} \quad (11)$$

Na equação (11), N_e representa a força axial de flambagem elástica, sendo existente em três situações, conforme mostrado nas equações (12), (13) e (14):

- Flambagem por flexão em relação ao eixo x:

$$N_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} \quad (12)$$

- Flambagem por flexão em relação ao eixo y:

$$N_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} \quad (13)$$

- Flambagem por torção:

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + GJ \right] \quad (14)$$

Onde:

C_w : Constante de empenamento da seção transversal;

K : Coeficiente de flambagem;

J : Constante de torção da seção transversal;

G : Módulo de elasticidade transversal do aço;

E : Módulo de elasticidade do aço;

L : Comprimento do elemento destravado;

r_0 : Raio de giração correspondente;

I_x e I_y : Momentos de inércia da seção transversal.

3.2.2.1. Esbeltez limite para elementos comprimidos

No que diz respeito ao índice de esbeltez de elementos comprimidos, a ABNT NBR 8800:2008 recomenda que o mesmo seja menor ou igual a 200. Para determinação desse índice, utiliza-se a equação (15):

$$\lambda = \frac{K \cdot L}{r} \leq 200 \quad (15)$$

Onde:

L : Comprimento do elemento destravado;

K : Coeficiente de flambagem determinado a partir do tipo de apoio;

r : Raio de giração.

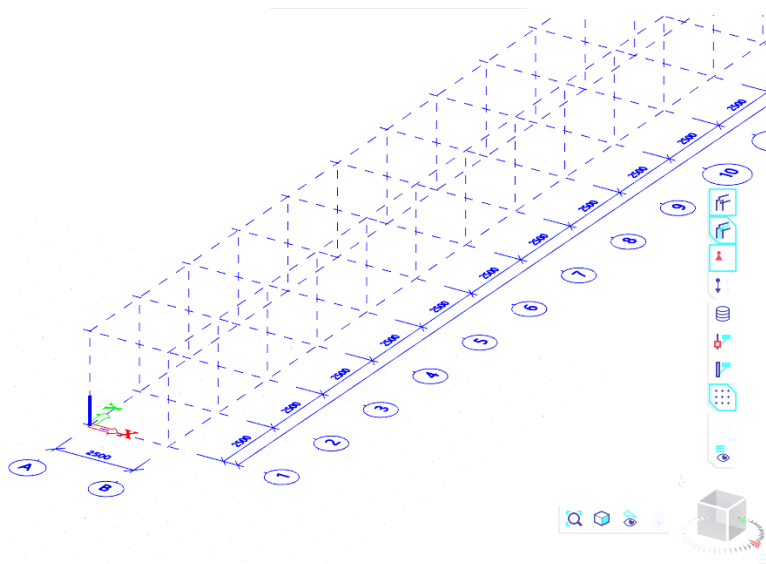
4. MODELAGEM DA ESTRUTURA

Neste tópico do trabalho, é abordada a modelagem da estrutura da passarela, de modo a esclarecer os elementos que a constituem. Para maior celeridade do capítulo, será exposto apenas o detalhamento do modelo de um módulo bi-apoiado de 25 m, visto que a estrutura é formada por dez desses módulos.

Inicialmente, foram definidos os materiais que constituirão a estrutura, os quais nesse trabalho são peças de aço A 572 grade 50, soldadas, com exceção dos contraventamentos, que são laminados. Além disso, o concreto utilizado na estrutura é o C 30. Definidos os materiais, realizou-se as configurações iniciais no Scia Engineer, a respeito das normas utilizadas para cálculo. Nessa etapa, foram escolhidas as normas brasileiras de concreto, ABNT NBR 6118:2023 e a norma brasileira de aço, a ABNT NBR 8800:2008.

Definidos os materiais e normalizações utilizadas para o cálculo, iniciou-se a modelagem da estrutura. De início definiu-se um grid tridimensional de linhas, com 25 m de comprimento, conforme observado na Figura 26:

Figura 26 - Grid de linhas 3D da passarela



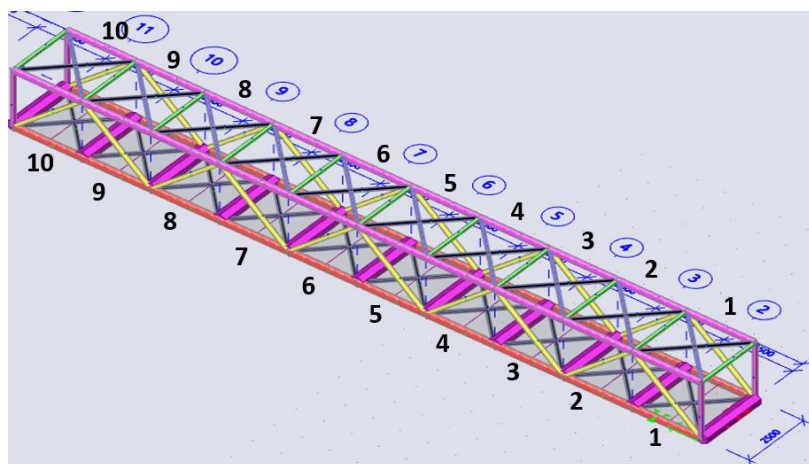
Fonte: Autoria própria (2023)

Nesse grid de linhas os banzos são constituídos por elementos com 2,50 m de comprimento, de modo que existem dez banzos inferiores na direita e dez banzos inferiores na esquerda. O raciocínio é idêntico para os banzos superiores da estrutura. Além disso, a treliça

possui 2,80 m de altura e 2,50 m de largura, de modo a comportar a passagem de pedestres e bicicletas, por exemplo.

Após definição do grid de linhas realizou-se a definição das seções transversais da estrutura e adicionaram-se os seus elementos (banzos, diagonais, transversinas, montantes e contraventamentos). Na Figura 27 é possível observar em cores como estão dispostos os elementos e como os mesmos estão numerados.

Figura 27 - Modelo em cores e com numeração



Fonte: Autoria própria (2023)

Na Figura 27 é possível observar todos os elementos de base da estrutura, os quais estão nomeados de 1 a 10. Essa nomenclatura foi replicada para formação dos demais módulos para vencer os 250 m de distância. Na Figura 27, em amarelo observam-se as diagonais da estrutura, em vermelho escuro observa-se os banzos inferiores, em verde estão as transversinas superiores, em ciano estão as transversinas inferiores, em magenta observam-se os banzos superiores e os montantes da estrutura. E, por fim, em azul escuro são ilustrados os contraventamentos da estrutura.

A estrutura modelada conta ainda com a presença de 22 apoios, sendo estes combinados de dois em dois, espaçados a cada 25 m de comprimento. Os apoios são numerados da seguinte forma: “Sn1, Sn2...Sn22”. A nomenclatura se dá entre um conjunto de dois apoios, sempre da direita para a esquerda.

Após a modelagem do primeiro módulo, foram realizadas 9 cópias do mesmo, de modo a gerar os 250 m. No processo de cópia do módulo, as numerações progridem, de modo que saem do último número (10) e chegam à numeração máxima de 100.

4.1. Solicitações na estrutura

4.1.1. Ações permanentes

Na definição das ações permanentes, considerou-se o peso próprio da estrutura e dos elementos que são sustentados por ela, como é o caso de cobertura, corrimãos, guarda-corpos e o piso.

No presente trabalho, as ações permanentes consideradas para o projeto estão descritas no Quadro 2 a seguir:

Quadro 2 - Ações permanentes atuantes na estrutura

Descrição da Solicitação	Intensidade
Peso próprio da estrutura metálica	78,50 kN/m ³
Peso próprio da laje pré-moldada de concreto	25,00 kN/m ³
Peso próprio das telhas metálicas	0,05 kN/m ²
Peso próprio dos perfis para telhas	0,06 kN/m ²
Peso próprio do corrimão + telas	0,10 kN/m – Para cada lado
Peso próprio das chapas metálicas e ligações	0,10 kN/nó

Fonte: Autoria própria (2023)

É importante destacar que os valores descritos no Quadro 2 foram inseridos no Scia Engineer, conforme pertinência de localização das cargas, de modo que, por exemplo, as cargas referentes à cobertura foram inseridas nos nós superiores da estrutura, enquanto as cargas de corrimão, guarda-corpo, laje pré-moldada e similares foram inseridas nos nós inferiores da estrutura, de modo a serem distribuídas nas placas pré-moldadas e nas transversinas. O peso próprio da estrutura metálica foi calculado pelo próprio *software*, com uso de pacotes específicos para tal.

4.1.2. Ações variáveis

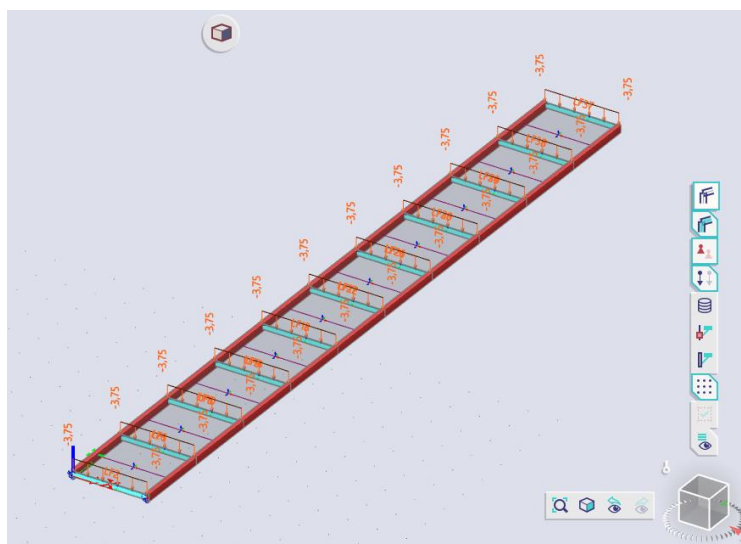
4.1.2.1. Carga de movimentação ou uso

A carga de movimentação de pedestres e equipamentos na estrutura foi definida respeitando as recomendações da ABNT NBR 7118:2013 – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas.

De acordo com o referido documento normativo, deve ser considerada uma carga de movimentação com intensidade de 5,0 kN/m². No projeto descrito por essa pesquisa, foi

inserida essa carga de movimentação sobre painéis de carga que foram definidos manualmente. Na Figura 28 é possível observar as cargas adicionadas.

Figura 28 - Cargas de uso e ocupação + peso próprio das lajes



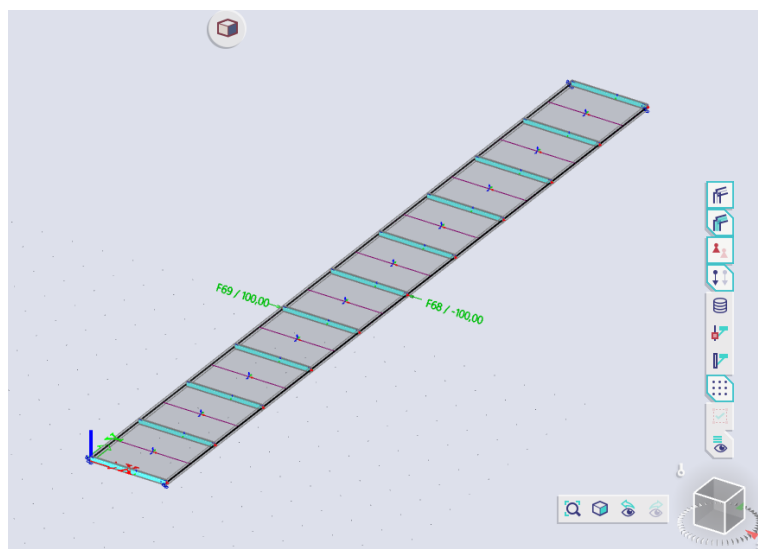
Fonte: Autoria própria (2023)

Na Figura 28 as cargas estão distribuídas nos painéis de piso e transversinas, de modo que as cargas consideradas são o peso próprio da laje pré-moldada e a carga de uso e ocupação.

4.1.2.2. Carga excepcional

Na tentativa de mitigar os efeitos de um impacto externo na estrutura, a ABNT NBR 7118:2013 – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas, prescreve que seja considerada uma carga horizontal pontual com intensidade de 100 kN, no ponto mais desfavorável da passarela, no sentido de tráfego da via. No projeto em questão, o ponto mais desfavorável foi definido como sendo aquele que passa sobre a rodovia, ou seja, inseriu-se a carga pontual de 100 kN no nó central do vão. Uma vez que a rodovia possui movimento de veículos nos dois sentidos, foi inserida a carga de 100 kN nos nós das duas faixas de movimentação. Na Figura 29 é possível observar a carga excepcional adicionada nos nós da estrutura.

Figura 29 - Aplicação da carga excepcional na estrutura



Fonte: Autoria própria (2023)

4.1.2.3. Carga devido ao vento

Para a definição da carga de vento na estrutura devem ser respeitadas algumas recomendações específicas. No presente trabalho, foram seguidas as considerações dispostas na ABNT NBR 6123:2013 – Forças devidas ao vento em edificações, com algumas simplificações que serão destacadas.

Para determinação do vento atuante, foram considerados os seguintes aspectos:

- Velocidade básica do vento (V_0): Consultando as isopletras de vento, disponível na ABNT NBR 6123:2013, considerando a cidade de Mossoró – RN, a velocidade básica do vento deve ser de $V_0 = 32$ m/s;
- Fator topográfico (S_1): Consultando ABNT NBR 6123:2013, considerando um terreno com poucas variações e plano, teremos que $S_1 = 1,0$;
- Fator de rugosidade do terreno (S_2): Para determinação deste fator, considerou-se um terreno coberto por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona industrial ou urbanizada, gerando, portanto, uma Categoria IV. Além disso, uma vez que a passarela possui a maior dimensão horizontal de superfície frontal maior que 50 m, a mesma se enquadra na Classe C. A combinação da categoria IV com a classe C, nos retorna um fator $S_2 = 0,84$;
- Fator estatístico (S_3): Para este fator, considerou-se que a estrutura estará com altos índices de ocupação, o que nos retorna um valor de $S_3 = 1,0$;

Com os dados acima listados, encontra-se a velocidade característica do vento (V_k), pela equação (16):

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (16)$$

$$V_k = 32 \text{ m/s} \cdot 1 \cdot 0,84 \cdot 1 \rightarrow V_k = \mathbf{26,88 \text{ m/s}}$$

Com a velocidade característica do vento em mãos, calcula-se a pressão dinâmica do vento, por meio da equação (17):

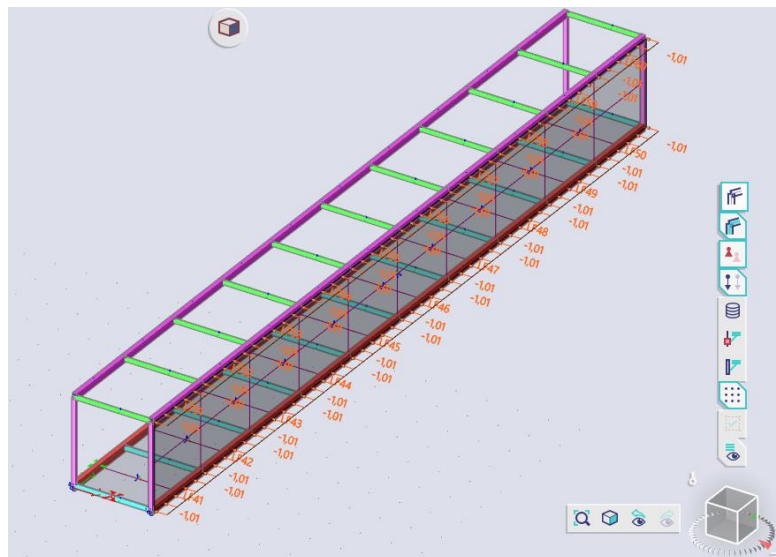
$$q = 0,613 \cdot V_k^2 \quad (17)$$

Determinadas a velocidade característica do vento e a pressão dinâmica, calcula-se a força global de atuação do vento, a qual é dada pela equação (18):

$$F = C_a \cdot q \cdot A_e \quad (18)$$

Por meio da equação (18), considerando um coeficiente de arrasto (C_a) de 1,78, teremos um valor de carga distribuída de vento de 0,72 kN/m². Para o projeto apresentado nesse trabalho, buscando gerar simplificação, considerou-se o vento incidindo apenas sobre uma direção. Para aplicação da carga distribuída de 0,72 kN/m², criou-se um painel de vento nas laterais da estrutura, o qual encontra-se pontilhado na Figura 30:

Figura 30 - Painel de atuação do vento



Fonte: Autoria própria (2023)

4.2. Combinações de cargas

Para efeitos de dimensionamento, foram definidas quatro combinações para o ELU, uma combinação para o ELS e uma combinação específica para a carga accidental.

4.2.1. Combinações últimas normais

A primeira combinação considerada diz respeito ao ELU e se configura como a carga de uso e ocupação sendo a principal atuante. Para esta combinação não foi considerada a carga accidental, visto que haverá uma combinação específica para a mesma. Utilizou-se a seguinte formulação na combinação ELU – 1:

$$S_d = \left(\sum \gamma_{gi} \cdot G_i + \gamma_{qi} \cdot Q_i + \sum \gamma_{qj} \cdot \psi_0 \cdot Q_j \right) \quad (19)$$

Para a combinação acima, utilizou-se os coeficientes de ponderação descritos na ABNT NBR 8800:2008 – Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Na Figura 31 é possível observar os coeficientes utilizados e as cargas consideradas.

Figura 31 - Cargas e coeficientes considerados no ELU-1

ELU - 1	CARGA DE USO COMO PRINCIPAL	Linear - última	PP DA ESTRUTURA - ESTRUTURA METÁLICA	1,250
			PP DA LAJE - PRÉ MOLDADA DE CONCRETO	1,400
			PP DA COBERTURA - TELHA METÁLICA + PERFIL DE TELHA	1,250
			PP - TELHA + CORRIMÃO	1,250
			PP - CHAPAS E LIGAÇÕES	1,250
			CARGA DE USO	1,500
			CARGA DE VENTO	0,840

Fonte: Autoria própria (2023)

A segunda combinação considerada se refere também ao ELU e consiste na consideração da carga de vento como variável principal. Foi considerada a seguinte equação para a combinação:

$$S_d = \left(\sum \gamma_{gi} \cdot G_i + \gamma_{qi} \cdot Q_i + \sum \gamma_{qj} \cdot \psi_0 \cdot Q_j \right) \quad (20)$$

Para a combinação acima, utilizou-se os coeficientes de ponderação descritos na ABNT NBR 8800:2008 – Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Na Figura 32 é possível observar os coeficientes utilizados e as cargas consideradas.

Figura 32 - Cargas e coeficientes considerados no ELU-2

ELU - 2	CARGA DE VENTO COMO PRINCIPAL	Linear - última	PP DA ESTRUTURA - ESTRUTURA METÁLICA	1,250
			PP DA LAJE - PRÉ MOLDADA DE CONCRETO	1,400
			PP DA COBERTURA - TELHA METÁLICA + PERFIL DE TELHA	1,250
			PP - TELA + CORRIMÃO	1,250
			PP - CHAPAS E LIGAÇÕES	1,250
			CARGA DE USO	0,750
			CARGA DE VENTO	1,400

Fonte: Autoria própria (2023)

A terceira combinação considerada, referente ainda ao ELU, consiste na consideração de uma sobrecarga na passarela, sem o vento atuando. Foi considerada a seguinte equação para a combinação:

$$S_d = \left(\sum \gamma_{gi} \cdot G_i + \gamma_{qi} \cdot Q_i + \sum \gamma_{qj} \cdot \psi_0 \cdot Q_j \right) \quad (21)$$

Para a combinação acima, utilizou-se os coeficientes de ponderação descritos na ABNT NBR 8800:2008 – Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Na Figura 33 é possível observar os coeficientes utilizados e as cargas consideradas.

Figura 33 - Cargas e coeficientes considerados no ELU-3

ELU - 3	SOBRECARGA DA PASSARELA - SEM VENTO	Linear - última	PP DA ESTRUTURA - ESTRUTURA METÁLICA	1,250
			PP DA LAJE - PRÉ MOLDADA DE CONCRETO	1,400
			PP DA COBERTURA - TELHA METÁLICA + PERFIL DE TELHA	1,250
			PP - TELA + CORRIMÃO	1,250
			PP - CHAPAS E LIGAÇÕES	1,250
			CARGA DE USO	1,500

Fonte: Autoria própria (2023)

A quarta e última combinação referente ao ELU é formado pela consideração do vento atuando, sem, no entanto, a consideração da sobrecarga de uso. Foi considerada a seguinte equação para a combinação:

$$S_d = \left(\sum \gamma_{gi} \cdot G_i + \gamma_{qi} \cdot Q_i + \sum \gamma_{qj} \cdot \psi_0 \cdot Q_j \right) \quad (22)$$

Para a combinação acima, utilizou-se os coeficientes de ponderação descritos na ABNT NBR 8800:2008 – Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Na Figura 34 é possível observar os coeficientes utilizados e as cargas consideradas.

Figura 34 - Cargas e coeficientes considerados no ELU-4

ELU - 4	VENTO COMO SOBRECARGA	Linear - última	PP DA ESTRUTURA - ESTRUTURA METÁLICA	1,250
			PP DA LAJE - PRÉ MOLDADA DE CONCRETO	1,400
			PP DA COBERTURA - TELHA METÁLICA + PERFIL DE TELHA	1,250
			PP - TELA + CORRIMÃO	1,250
			PP - CHAPAS E LIGAÇÕES	1,250
			CARGA DE VENTO	1,400

Fonte: Autoria própria (2023)

4.2.2. Combinação última excepcional

Essa combinação é especialmente constituída para tratar sobre a atuação da carga excepcional na estrutura. A formulação utilizada para este caso é a seguinte:

$$S_d = \left(\sum \gamma_{gi} \cdot G_i + Excepcional + \sum \gamma_{qj} \cdot \psi_0 \cdot Q_i \right) \quad (23)$$

Para a combinação acima, utilizou-se os coeficientes de ponderação descritos na ABNT NBR 8800:2008 – Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Na Figura 35 é possível observar os coeficientes utilizados e as cargas consideradas.

Figura 35 - Cargas e coeficientes considerados na combinação da acidental

COMB. DA ACIDENTAL	Linear - última	PP DA ESTRUTURA - ESTRUTURA METÁLICA	1,100
		PP DA LAJE - PRÉ MOLDADA DE CONCRETO	1,200
		PP DA COBERTURA - TELHA METÁLICA + PERFIL DE TELHA	1,100
		PP - TELA + CORRIMÃO	1,100
		PP - CHAPAS E LIGAÇÕES	1,100
		CARGA DE USO	0,500
		CARGA ACIDENTAL	1,000
		CARGA DE VENTO	0,600

Fonte: Autoria própria (2023)

Nessa combinação é interessante destacar que a carga excepcional é considerada em seu valor integral, sem minoração ou majoração.

4.2.3. Combinação de serviço quase permanente

Essa combinação foi inserida de forma a gerar a possibilidade de encontrar uma flecha de deslocamento na estrutura. Para que seja possível essa combinação, será utilizada a seguinte equação:

$$F_{serv} = \left(\sum G_i + \sum \psi_2 \cdot Q_j \right) \quad (24)$$

Para a combinação acima, utilizou-se os coeficientes de ponderação descritos na ABNT NBR 8800:2008 – Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Na Figura 36 é possível observar os coeficientes utilizados e as cargas consideradas.

Figura 36 - Cargas e coeficientes considerados na combinação de serviço

ELS	Linear - serviço	PP DA ESTRUTURA - ESTRUTURA METÁLICA	1,000
		PP DA LAJE - PRÉ MOLDADA DE CONCRETO	1,000
		PP DA COBERTURA - TELHA METÁLICA + PERFIL DE TELHA	1,000
		PP - TELA + CORRIMÃO	1,000
		PP - CHAPAS E LIGAÇÕES	1,000
		CARGA DE USO	0,300

Fonte: Autoria própria (2023)

Nessa combinação de serviço não foi considerada a atuação do vento, de modo que foram consideradas as cargas atuando sem majoração ou minoração, com exceção da carga de uso, que foi considerado apenas 30 % do seu valor. É interessante destacar que poderiam ainda ser exploradas mais algumas combinações, como é o caso das combinações de serviço frequentes e combinações de serviço raras, mas que não serão aqui realizadas por motivos de simplificação do trabalho.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De agora em diante, serão mostrados e discutidos os resultados encontrados para o projeto da passarela.

5.1. Classes de carga

Com o objetivo de criar uma análise mais precisa e apurada, decidiu-se criar uma classe de resultados. Essa classe nada mais é do que um conjunto de combinações. Para o caso desse projeto foi criada uma classe para o ELU, classe esta que reúne as quatro combinações supracitadas do ELU e, ainda, a combinação da acidental. Na Figura 37 é possível observar a classe para o ELU criada:

Figura 37 - Classe de resultados – ELU

CLASSE ELU	ELU - 1 - Linear - última
	ELU - 2 - Linear - última
	ELU - 3 - Linear - última
	ELU - 4 - Linear - última
	COMB. DA ACIDENTAL - Linear - última

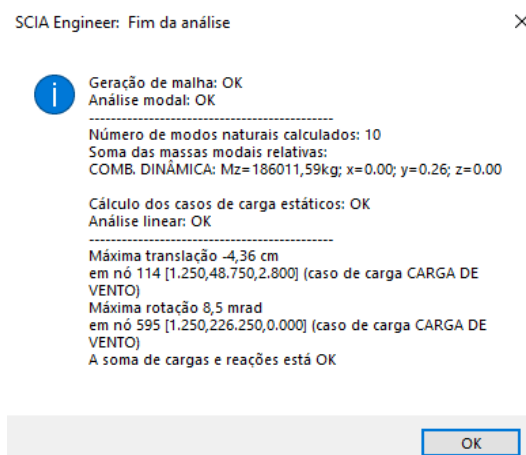
Fonte: Autoria própria (2023)

Essa classe definida é importante para as análises, visto que possibilita que o *software* indique qual caso de carga mais solicita os elementos da estrutura.

5.2. Processamento global da estrutura

Definidos os materiais, especificadas suas propriedades e seções, construído o modelo e inseridas as cargas e combinações supracitadas, realizou-se o processamento global da estrutura. O processamento foi realizado sem nenhum erro indicado pelo Scia Engineer, conforme ilustrado na Figura 38 a seguir:

Figura 38 - Resultado do processamento global da estrutura



Fonte: Autoria própria (2023)

É válido destacar que, para a análise global, foram considerados efeitos estáticos e dinâmicos, ou seja, a estrutura foi analisada considerando efeitos de vibração para posterior verificação de faixas de risco. Os resultados iniciais dessa análise nos revelam algumas informações importantes, como é o caso das translações e rotações máximas identificadas. Como é possível perceber na Figura 38, os valores de máxima translação e máxima rotação obtidos são relativamente baixos, considerando o vão da estrutura. Esses valores podem ser explicados pela alta rigidez proporcionada pelo arranjo estrutural escolhido para o projeto. Além disso, é possível observar que, no processamento inicial, a carga de vento foi o caso mais desfavorável.

5.3. Reações de apoio e deslocamentos

5.3.1. Reações nos apoios

Para um melhor entendimento do caminhar das cargas, neste tópico serão mostradas as reações que chegam aos apoios da estrutura. Como já de praxe nessa pesquisa, selecionou-se a classe de cargas do ELU, para que o Scia Engineer encontre a combinação que gera as maiores contribuições de esforços. Na passarela em questão, há 22 apoios, espaçados de 25 m, em conjunto de 2 apoios. Realizou-se o processamento e a Figura 39 ilustra os valores máximos das reações e em qual apoio ocorre.

Figura 39 - Valores máximos das reações de apoio

Nome	Caso	R _x [kN]	R _y [kN]	R _z [kN]
Sn5/N11	ELU - 3/1	-0,10	-0,88	539,12
Sn19/N304	ELU - 2/2	36,64	-0,09	406,51
Sn23/N384	ELU - 1/3	9,81	-5,23	248,98
Sn1/N12	ELU - 1/3	9,81	5,23	248,97
Sn22/N374	ELU - 4/4	16,41	0,17	135,12
Sn3/N22	ELU - 1/3	21,09	-0,68	566,71

Fonte: Autoria própria (2023)

Como era de se esperar, as maiores reações nos apoios se dão na direção vertical, onde há a maior atuação dos esforços da estrutura. Além disso, é possível perceber que as reações possuem valores maiores nas extremidades dos apoios da estrutura, como é possível visualizar nos apoios de número 1, 3, 5, 19 e 22, todos próximos às extremidades.

5.3.2. Deslocamentos nodais

Os deslocamentos nodais dizem respeito a resposta que uma estrutura entrega quando é submetida a esforços externos. No caso do projeto dessa pesquisa, a análise dos deslocamentos nodais foi realizada de modo a considerar a classe ELU definida anteriormente. Essa consideração permite que o próprio software indique qual a combinação de carga gera os maiores deslocamentos nos nós, agilizando a análise. Na Figura 40 é possível observar os resultados obtidos para essa análise, na qual são destacados somente os valores máximos de deslocamentos.

Figura 40 - Deslocamentos nodais máximos na estrutura

Nome	Caso	U _x [cm]	U _y [cm]	U _z [cm]
N74	ELU - 2/1	-6,11	0,00	0,00
N426	ELU - 2/1	5,09	6,77	0,00
N406	ELU - 1/2	3,14	-8,02	0,00
N426	ELU - 1/2	3,15	7,96	0,00
N17	ELU - 1/2	-1,49	-0,02	-3,79
N23	ELU - 2/1	-4,77	0,30	0,00
N2	ELU - 3/3	0,00	-0,26	-2,24
N374	ELU - 2/1	-1,23	0,07	0,00
N1	ELU - 2/1	-1,23	-0,07	0,00

Fonte: Autoria própria (2023)

Analisando os valores exibidos na Figura 40, pode-se perceber que os maiores deslocamentos nodais são axiais e laterais. Os valores mais elevados nessas direções eram

esperados, posto que, nelas, há a atuação das cargas de movimentação da estrutura e cargas de vento, conforme mostram a coluna de casos de carga.

5.3.3. Deslocamentos tridimensionais - (Flecha da estrutura)

De maneira análoga aos deslocamentos nodais, os deslocamentos 3D são uma resposta da estrutura aos esforços externos. A diferença deste deslocamento para o nodal é que a estrutura é considerada como um todo, e não somente os nós. Nesse caso, uma vez que se pretende encontrar a flecha máxima da estrutura, utilizou-se a combinação do ELS e, na Figura 41, é possível observar os valores obtidos.

Figura 41 - Deslocamentos tridimensionais

Nome	dx [m]	Caso	u _x [cm]	u _y [cm]	u _z [cm]	φ _x [mrad]	φ _y [mrad]	φ _z [mrad]	U _{total} [cm]
CONTRA. SUP. 40	2,828	ELS /1	-6,19	-0,11	0,21	6,6	-6,3	-0,3	6,20
TRANSV. INF. 6	1,250	ELS /1	0,00	0,02	-4,80	0,3	0,0	0,0	4,80
CONTRA. SUP. 180	2,828	ELS /1	-6,06	-0,06	0,22	6,4	-6,2	-0,6	6,07
CONTRA. INF. 2	1,591	ELS /1	-1,41	-0,21	-0,87	-20,3	-9,6	-0,4	1,67
CONTRA. SUP. 198	1,768	ELS /1	-4,94	-0,22	-0,88	15,3	-10,6	1,3	5,03
TRANSV. INF. 6	0,000	ELS /1	-1,51	0,05	-3,43	0,3	-16,5	0,3	3,75
TRANSV. INF. 12	2,500	ELS /1	-0,01	0,00	-1,78	-1,2	15,0	0,0	1,78
CONTRA. INF. 179	3,536	ELS /1	-2,64	-0,02	0,00	-0,3	-9,9	-6,3	2,64
CONTRA. INF. 22	0,000	ELS /1	-2,64	0,02	0,00	0,5	-9,9	6,4	2,64
MONT. DIR. 6	0,280	ELS /1	0,00	0,00	0,00	0,0	-0,2	0,0	0,00

Fonte: Autoria própria (2023)

A Figura 41 nos revela que os deslocamentos tridimensionais máximos ocorrem especialmente nas transversinas e nos contraventamentos da passarela. Pelo modelo elaborado, é possível perceber que o deslocamento máximo ocorre em uma região próxima ao centro da estrutura. Esse centro, por sua vez, localiza-se no trecho que está sobre a BR 110. O valor máximo nessa região pode ser explicado pela presença da carga accidental de 100 kN nos nós, o que pode ter elevado os esforços na região e, conseqüentemente, elevado os deslocamentos.

5.3.3.1. Verificação de deslocamento 3D máximo

O deslocamento máximo ocorrido na estrutura, embora pareça elevado, ainda se encontra em uma faixa aceitável, visto que, a ABNT NBR 14762:2010 recomenda que o valor máximo de deslocamento para esse tipo de estrutura, considerando a mesma como sendo uma

viga de piso, é de $l/180$, ou seja, uma flecha de 0,138 m, superior aos valores exibidos nas Figuras 40 e 41 – (Valor máximo de 8,02 cm).

5.4. Dimensionamentos e verificações

5.4.1. Dimensionamento à tração

Para a realização do dimensionamento dos elementos tracionados, utilizaram-se as equações supracitadas, especialmente a equação (1), a qual considera o escoamento da seção bruta. No Scia Engineer, foi selecionada a classe de resultados ELU, a qual permite que o software avalie qual caso de carga mais solicita a estrutura. A análise foi realizada com sucesso e o Quadro 3 a seguir ilustra os resultados do dimensionamento à tração.

Quadro 3 - Dimensionamento à tração

Nome do Elemento	Número	Força Solicitante (kN)	Força Resistente (kN)	Índice de Esbeltes (λ)	Utilização da Barra (%)
Banzo Sup. Esq.	10	348,05	1023,67	38,67	34,0
Diagonal Esq.	12	184,57	473,26	72,38	39,0
Banzo Inf. Esq.	1	110,95	142,25	37,98	78,0
Banzo Inf. Dir.	1	53,83	92,81	37,98	58,0
Banzo Inf. Dir.	100	53,82	92,79	37,98	58,0

Fonte: Autoria própria (2023)

Analisando brevemente o quadro 3, pode-se identificar que as solicitações de tração as quais os perfis estão submetidos são inferiores as suas resistências, ou seja, os perfis escolhidos atendem às solicitações. Além disso, pode-se perceber que as esbeltezes encontradas para os elementos também estão em faixas aceitáveis, visto que, conforme já citado, a recomendação normativa é que, para peças tracionadas, o λ seja inferior ou igual a 300. Por fim, é possível observar pelo quadro 3 que os níveis de utilização dos elementos estão razoavelmente baixos, sendo que o mais solicitado está com 78 % da sua capacidade resistente em uso.

5.4.2. Dimensionamento à compressão

Para a realização do dimensionamento dos elementos comprimidos, utilizaram-se as equações supracitadas, especificamente as equações (6) a (15). No Scia Engineer, novamente, foi selecionada a classe de resultados ELU, a qual permite que o *software* avalie qual caso de carga mais solicita a estrutura. A análise foi realizada com êxito e o Quadro 4 ilustra os resultados do dimensionamento à compressão.

Quadro 4 - Dimensionamento à compressão

Nome do Elemento	Número	Força Solicitante (kN)	Força Resistente (kN)	Índice de Esbeltes (λ)	Utilização da Barra (%)
Diagonal Esq.	10	-298,37	466,20	72,38	64,0
Diagonal Esq.	13	-70,50	213,64	72,38	33,0
Transversina Inf.	2	-23,10	39,16	62,16	59,0
Montante Esq.	3	-4,77	31,80	107,80	15,0
Banzo Sup. Dir.	100	-2,80	93,33	38,67	3,00

Fonte: Autoria própria (2023)

Analisando brevemente o quadro 4, pode-se identificar que as solicitações de compressão as quais os perfis estão submetidos são inferiores as suas resistências, ou seja, os perfis escolhidos atendem às solicitações. Além disso, pode-se perceber que as esbeltezes encontradas para os elementos também estão em faixas aceitáveis, visto que, conforme já citado, a recomendação normativa é que, para peças comprimidas, o λ seja inferior ou igual a 200. Por fim, é possível observar pelo quadro 4 que os níveis de utilização dos elementos estão razoavelmente baixos, sendo que o mais solicitado está com 64 % da sua capacidade resistente em uso.

5.5. Frequências naturais e ressonância

Para considerações de efeitos de vibração na estrutura foi definido inicialmente o que o Scia Engineer chama de “massa linear em viga”. Em resumo, esse procedimento consiste em adicionar massas nas transversinas, de modo que as mesmas funcionem como uma viga. Para essa análise, foram adicionados dois casos de massa, um que representa a carga de uso e ocupação e outro que representa o peso próprio da estrutura metálica.

Definidos os casos de massa e adicionados nas transversinas, prosseguiu-se para a definição do número de frequências a serem analisadas. Nesse trabalho, optou-se por escolher a análise de dez frequências, número mais do que suficiente para encontrar valores críticos de vibração. O procedimento de determinação das frequências é realizado pelo método iterativo de Lanczos, juntamente com a teoria das placas de Reissner-Mindlin. Por fim, realizou-se a análise dinâmica de vibração e os resultados são mostrados na Figura 42.

Figura 42 - Análise dinâmica de vibrações

Modo de Vibração	Combinação Utilizada	f (Hz)
1	Combinação Dinâmica	4,72
2	Combinação Dinâmica	4,86
3	Combinação Dinâmica	4,97
4	Combinação Dinâmica	5,06
5	Combinação Dinâmica	5,67
6	Combinação Dinâmica	5,97
7	Combinação Dinâmica	4,75
8	Combinação Dinâmica	4,86
9	Combinação Dinâmica	5,75
10	Combinação Dinâmica	6,02

Fonte: Autoria própria (2023)

Analisando a Figura 42, é possível identificar que as frequências naturais da estrutura respeitam as recomendações dispostas na ABNT NBR 6118:2023, a qual expressa que as frequências encontradas devem ser superiores a 4,5 Hz, de modo a evitar a ocorrência de fenômenos ondulatórios de amplificação. Dentre os dez modos de vibração destacados na Figura 38, o de número 6 representa o mais importante deles, visto que, esta é a vibração da estrutura na vertical. Uma vez que os valores de frequência encontrados respeitam as faixas de risco especificadas, pode-se inferir que a estrutura não irá sofrer com problemas de amplificação de vibrações, tampouco com ressonância e fenômenos acústicos correlatos.

Nesse tópico é pertinente destacar que a análise dinâmica realizada é uma simplificação, de modo que devem ser realizadas verificações mais apuradas, por meio de ferramentas e normalizações específicas, considerando mais variáveis, de modo a proporcionar maior segurança e precisão nos resultados encontrados.

5.6. Breve listagem de materiais e custos

Embora a pesquisa não tenha foco em mostrar quantitativos e custos, o Scia Engineer consegue fornecer uma listagem dos materiais da passarela, o que é pertinente para ter-se uma ideia das quantidades. Por este motivo, na Figura 43 são ilustrados os quantitativos de materiais e um orçamento simplificado gerado pelo *software*.

Figura 43 - Relatório de materiais e custos

Material	Massa [kg]	Superfície [m ²]	Volume [m ³]	Preço [€]
Aço	76918,60	2101,981	9,7985e+00	76919
Concreto	127050,00	314,600	5,0820e+01	51
Total	203968,60	2416,581	6,0619e+01	76969

Fonte: Autoria própria (2023)

É importante destacar que esse quantitativo e custos referem-se tão somente aos materiais a serem utilizados na estrutura, excluindo, portanto, os demais serviços que são necessários para instalação desse tipo de estrutura.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No que diz respeito ao dimensionamento estrutural, os elementos da estrutura apresentaram-se solicitados majoritariamente a esforços normais de tração e compressão, o que pode ser esperado, posto que se considerou um sistema estrutural treliçado.

Ainda referente ao dimensionamento estrutural, os apoios da estrutura estão submetidos a esforços graduais, de modo que, nos apoios das extremidades, os esforços possuem valores máximos, enquanto que, nos demais apoios da estrutura, as reações se apresentam com valores menores. Além disso, as principais reações na estrutura se dão na direção vertical, onde estão os maiores esforços atuantes. Esse comportamento pode ser explicado pela distribuição de cargas proporcionado pelo sistema treliçado.

Em relação às diagonais da estrutura, observa-se que as mesmas estão solicitadas de forma alternada, iniciando nas extremidades com elementos mais solicitados à tração e, ao passo que se aproxima do centro da estrutura, os elementos são mais solicitados à compressão.

No que diz respeito aos perfis adotados, pôde-se perceber que estes mostraram-se eficientes na sua função, apresentando, inclusive, percentuais medianos de utilização. Esses percentuais de uso nos sugerem que poderiam ser efetuadas reduções nas dimensões dos perfis, o que pode ser realizado, por exemplo, em pesquisas futuras.

Em respeito aos deslocamentos da estrutura, percebeu-se que os mesmos apresentaram valores mais extremos nos contraventamentos e transversinas, configurando valor máximo de 8,02 cm. Esse valor, embora pareça elevado, está dentro das faixas recomendadas pela ABNT NBR 14762:2010, considerando-se o vão de 25 m deste trabalho.

Por fim, em análise geral, é possível afirmar que a estrutura projetada proporcionou como resultado uma passarela que respeita as recomendações das normas relacionadas ao tema, em relação a aspectos de conforto dos usuários e usabilidade. Além disso, ao fim do trabalho, tornou-se claro que a passarela apresenta a resistência e rigidez exigidas para sua função.

Em linhas gerais, os objetivos do presente trabalho foram alcançados, visto que, ao fim da pesquisa, foi possível apresentar uma proposta de projeto de passarela viável, segura e eficiente para a BR 110, interligando os campi da UFERSA.

Como sugestões para trabalhos futuros, indica-se que sejam realizadas demais considerações de dimensionamento, como é o caso da definição de elementos de fixação, dimensionamento de fundações e pilares, e, ainda, realização de orçamento detalhado da estrutura.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Artur Henrique Lima. **Estudo de caso na br-304 para análise e proposta de construção de passarela**. Orientador: Silvanete Severino da Silva. 2020. 12 p. ESTUDO DE CASO NA BR-304 PARA ANÁLISE E PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO DE PASSARELA (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Mossoró - RN, 2020.
- ANDRADE, Emanuel Rodrigues de. **Estudo de Ressonância - Caso Tacoma Narrows**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://betaeq.com.br/>. Acesso em: 12 set. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9050 - **Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681 - **Ações e segurança nas estruturas – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7118 – **Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14762 - **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123 – **Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15980 – **Perfis laminados de aço para uso estrutural – Dimensões e tolerâncias**. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800 - **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2023.
- BELLEI, Ildony H. **Edifícios Industriais em Aço: Projeto e Cálculo**. 6. ed. São Paulo: Pini, 2010.
- CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**. 7. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. 2008.
- COUTO, José Antônio Santos *et al.* **O concreto como material de construção: Caderno de graduação**. Engenharia e Inovação, Sergipe, ano 49-58, v. 1, n. 17, p. 1-21, 12 out. 2013.
- DNIT-Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Álbum de projetos-tipo de passarelas para pedestres**. 272 p. vol 1. 1ª ed. IPR – 748, 2020.

DNIT-Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **ISF 219: PROJETO DE PASSARELA PARA PEDESTRES**, 2015b. 6 p. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/download/sala-deimprensa/isf-219-projeto-depassarelas-para-pedestres.pdf>>. Acesso em: 12 de setembro de 2023.

FRANCO, Yasmin Vacarin. **Análise de uma modelagem para passarelas de pedestre sobre rodovias**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, 2015.

FREITAS, Diego Silva de. **Registros da Ponte Hercílio Luz**. [S. l.], 25 ago. 2019. Disponível em: <https://stock.adobe.com/br/search?k=ponte+hercilio+luz>". Acesso em: 19 set. 2023.

GRAEBIN, Laerti. **Dimensionamento de uma passarela em estrutura metálica na cidade de Novo Hamburgo / RS**. Universidade do Vale do Taquari – Univates, 2018.

GUERRA, Yara. **Incríveis! As 10 maiores passarelas para pedestres do mundo**. Revista Casa e Jardim - Urbanismo, 9 jul. 2023. Disponível em: <https://revistacasaejardim.globo.com/urbanismo/noticia/2023/07/incriveis-as-10-maiores-passarelas-para-pedestres-do-mundo.ghtml>. Acesso em: 11 set. 2023.

IMIANOWSKY, Guilherme Wanka; WALENDOWSKY, Marcus Alberto. **Os principais aços carbono utilizados na construção civil: the main carbon steels used in civil construction**. Portal de Artigos do CREA - SC, Revista Casa e Jardim - Urbanismo, p. 1-21, 24 fev. 2017.

LIMA, Luciano Rodrigues Ornelas de. **Notas de Aulas Sobre Treliças**. Jornal de Engenharia da UERJ, Rio de Janeiro, p. 50-60, 2018.

NOGUEIRA, Rosiane de Castro. **Caracterização mecânica e análise microestrutural com a utilização da técnica de tríplice ataque do aço multifásico AISI 4350**. 2014. 136 p. Tese (Engenharia Mecânica - Materiais) - Universidade Estadual Paulista - Campus de Guaratinguetá, Revista Casa e Jardim - Urbanismo, 2013.

PALÁCIO DO PLANALTO. Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. **Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência)**., [S. l.], 2015. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm. Acesso em: 20 set. 2023.

PALLATUS, Antônio. **A ponte mais antiga do mundo ainda em uso foi construída pelos gregos em 1.300 a.C.** Blog Mdig, 28 out. 2021. Disponível em: <https://www.mdig.com.br/index.php?itemid=53111>. Acesso em: 13 set. 2023.

PEDROSA, Juliana Araújo. **Propostas para adequação da avenida Francisco Mota na cidade de Mossoró/RN**. Orientador: Eric Amaral Ferreira. 2016. 79 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, [S. l.], 2016.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de aço: Dimensionamento prático**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

SOUZA, Marta Francisca Suassuna Mendes de *et al.* Estruturas. 2008. 93 p. **Sistemas estruturais de edificações e exemplos.** (Bacharelado - Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo – FEC - UNICAMP, Campinas - SP, 2008.

SOUZA, Maykon Willian. SANTANA, Saymon Henrique Santos. SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - TALENTOS DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM AÇÃO, V., 2019, Belém. **ANÁLISE DE VIBRAÇÕES EM UMA ESTRUTURA DE CONCRETO: ANÁLISE VIBRACIONAL DE UM SISTEMA SUBMETIDO A UM CARREGAMENTO EXPONENCIAL [...].** [S. l.: s. n.], 2019. 4 p.

SOUZA, Pedro Almeida de. **As cinco pontes estaiadas mais imponentes do Brasil.** [S. l.], 29 out. 2012. Disponível em: <https://blog.ofitexto.com.br/engenharia-civil/as-5-pontes-estaiadas-mais-imponentes-do-brasil/>. Acesso em: 10 set. 2023.

SLU, DF. **Passagens subterrâneas do eixão são lavadas toda semana.** [S. l.], 17 out. 2022. Disponível em: <https://www.slu.df.gov.br/passagens-subterraneas-do-eixao-sao-lavadas-toda-semana/>. Acesso em: 17 set. 2023.

VASCONCELOS, A. C. de. **Pontes brasileiras: Viadutos e passarelas notáveis.** São Paulo: Pini, 1993.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. **Pontes e viadutos rodoviários: Conceituação, conservação, segurança e reforço estrutural.** 2015. 71 p. Notas de Aula da disciplina: Reforço e Recuperação de Pontes e Viadutos (CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM INSPEÇÃO, MANUTENÇÃO E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS) - Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, 2015.

WASAKI, Arturo Vinhedo. **O que são passarelas para pedestres?** [S. l.], 27 jun. 2021. Disponível em: [https://wasaki.com.br/o-que-sao-passerelas-para-pedestres/#:~:text=Conforme%20o%20ISF%2D219%3A%20Projeto,s%C3%A3o%20chamadas%20de%20passagem%20subterr%C3%A2nea](https://wasaki.com.br/o-que-sao-passerelas-para-pedestres/#:~:text=Conforme%20o%20ISF%2D219%3A%20Projeto,s%C3%A3o%20chamadas%20de%20passagem%20subterr%C3%A2nea.). Acesso em: 18 set. 2023.