



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
JOÃO VITOR VARGAS SILVA

ESTRUTURAS MISTAS E SUAS PARTICULARIDADES CONSTRUTIVAS

Tubarão

2021

JOÃO VITOR VARGAS SILVA

ESTRUTURAS MISTAS E SUAS PARTICULARIDADES CONSTRUTIVAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof. Lucimara Aparecida Schambeck Andrade, Me.

Tubarão

2021

JOÃO VITOR VARGAS SILVA

ESTRUTURAS MISTAS E SUAS PARTICULARIDADES CONSTRUTIVAS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 21 de junho de 2021.

Lucimara a. s. a.

Prof. e orientadora Lucimara Aparecida Schambeck Andrade, Me.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Motta

Prof. Maurício Alberto Büchele Motta, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Beatriz Anselmo Pereira

Eng. Beatriz Anselmo Pereira, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por toda força e sabedoria, e secundamente a meus familiares e amigos que sempre me acompanharam nesta trajetória acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Queria agradecer primeiramente a Deus, pois sem ele eu não teria chegado até aqui, também agradeço aos meus pais João e Sandra, por todo apoio e conversas durante o ciclo acadêmico. Mesmo nos momentos difíceis me deram total incentivo para prosseguir.

A minha noiva Mariana, por sempre estar ao meu lado me apoiando e me motivando para seguir em frente e não desistir, contribuindo para realizar mais esse sonho.

A minha orientadora Lucimara, que é um exemplo de profissional, sempre buscando me passar conhecimento, dicas, correções e com isso servindo como uma base para a elaboração deste trabalho.

E também agradeço a todos os professores e colegas do curso de engenharia civil, que de certa forma foram essenciais para a minha trajetória acadêmica.

“No meio da dificuldade, encontra-se a oportunidade”. (ALBERT EINSTEIN)

RESUMO

Devido à necessidade da construção civil em alcançar grandes lucros, competitividade, o menor custo e prazo, surge a ideia de utilizar novos sistemas construtivos para que se obtenha os resultados esperados. Com isso, existem diversos sistemas que podem ser utilizados, como por exemplo, o sistema estrutural misto, mas devido à mão de obra pouco capacitada e outros motivos, acaba-se optando pelo uso do sistema estrutural convencional. Diante disso, foi desenvolvido um estudo com foco em descobrir as principais vantagens e desvantagens construtivas entre o sistema misto e convencional. Com base na revisão de literatura, foi possível comparar e ter opiniões dos autores sobre a viabilidade econômica de um edifício-exemplo, e também foi aplicado um questionário para os engenheiros civis de Tubarão Santa Catarina, com o propósito de analisar o nível de conhecimento e a aceitação do sistema construtivo misto (aço-concreto). Por fim, ficou concluído que as estruturas mistas são de extrema importância para a construção civil, pois conta com rapidez e redução de desperdícios, mas ainda esbarra no custo elevado dos materiais e mão de obra desqualificada.

Palavras-chave: Sistema estrutural misto. Sistema estrutural convencional. Construção civil.

ABSTRACT

Due to the need for civil construction to achieve large profits, competitiveness, the lowest cost and time, the idea of using new construction systems to achieve the expected results arises. With this, there are several systems that can be used, such as the mixed structural system, but due to poorly trained labor and other reasons, it ends up opting for the use of the conventional structural system. Therefore, a study was developed with a focus on discovering the main constructive advantages and disadvantages between the mixed and conventional systems. Based on the literature review, it was possible to compare and have opinions of the authors on the economic viability of an example building, and a questionnaire was also applied to the civil engineers of Tubarão Santa Catarina, with the purpose of analyzing the level of knowledge and the acceptance of the mixed construction system (steel-concrete). Finally, it was concluded that the mixed structures are of extreme importance for civil construction, as it relies on speed and reduction of waste, but still comes up against the high cost of materials and unqualified labor.

Key words: Mixed structural system. Conventional structural system. Construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Edifício The One – São Paulo.....	25
Figura 2 - Edifício The One em construção – São Paulo	26
Figura 3 - Planta baixa pavimento tipo.....	30
Figura 4 - Planta de estrutura aporticada	33
Figura 5 - Consumo de Concreto.....	35
Figura 6 - Consumo de aço em barras	36
Figura 7 - Consumo de aço em perfis.....	36
Figura 8 - Consumo de formas	37
Figura 9 - Você conhece o sistema estrutural misto (aço-concreto)?.....	42
Figura 10 - Qual sistema estrutural você utiliza?	43
Figura 11 - Você acha interessante o uso do sistema misto (aço-concreto)? Se sim, por qual motivo?	44
Figura 12 - Com base no seu conhecimento, qual sistema você indicaria?.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pesos específicos e cargas	31
Tabela 2 - Consumo de matérias	32
Tabela 3 - Ações consideradas para o dimensionamento	34
Tabela 4 - Consumo de Materiais para o dimensionamento em estrutura mista.....	34
Tabela 5 - Custo total da estrutura.....	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Questionário aplicado aos engenheiros civis.....	40
-------------------------------------------------------------	----

LISTA DE SIGLAS

NBR – Norma Brasileira

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo geral	15
1.2.2	Objetivos específicos	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO	16
2.1.1	Sistema construtivo	17
2.1.1.1	Sapatas	17
2.1.1.2	Vigas	17
2.1.1.3	Pilares	17
2.1.1.4	Lajes	18
2.2	AÇO	18
2.2.1	Ductilidade	18
2.2.2	Tenacidade e resiliência	19
2.2.3	Elasticidade	19
2.2.4	Plasticidade	19
2.3	CONCRETO	19
2.3.1	Propriedades do concreto fresco	20
2.3.1.1	Trabalhabilidade	20
2.3.1.2	Segregação	20
2.3.1.3	Exsudação	21
2.3.2	Propriedades do concreto endurecido	21
2.3.2.1	Resistência mecânica	21
2.3.2.2	Módulo de elasticidade	22
2.3.2.3	Durabilidade	22
2.4	ESTRUTURA METÁLICA	23
2.4.1	Vantagens da estrutura metálica	23
2.4.2	Desvantagens da estrutura metálica	24
2.5	ESTRUTURAS MISTAS	24
2.5.1	Métodos construtivos das estruturas mistas	26
2.5.1.1	Método com núcleo rígido	26

2.5.1.2 Método com pórtico rígido	27
2.5.1.3 Método tubular	27
2.5.2 Vantagens e desvantagens das estruturas mistas	28
2.6 ESTUDO COMPARATIVO	29
2.6.1 Dados do edifício exemplo	29
2.6.2 Dimensionamento com estruturas convencionais e laje maciça.....	31
2.6.3 Dimensionamento com estruturas mistas aço-concreto.....	32
2.6.3.1 Consumo de concreto	35
2.6.3.2 Consumo de aço em barras e perfis	35
2.6.3.3 Consumo de formas	37
2.6.4 Custo das estruturas.....	37
3 METODOLOGIA.....	39
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	41
4.1 RESULTADO DA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO	42
5 CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

Segundo Chaves (2007 *apud* FRANTZ, 2011), pode se destacar quanto às estruturas metálicas a maior resistência mecânica do aço quando comparada aos dos outros materiais, assim como a eficiência de um tipo de construção com características de industrialização, além da possibilidade de reforço e ampliação das estruturas, a flexibilidade das soluções arquitetônicas e estruturais, e a facilidade de montagem e desmontagem.

Chaves (2007 *apud* FRANTZ, 2011) ressalta que como consequências diretas destas características, podem-se obter ganhos como alívio das fundações, aumento do espaço útil da construção, redução do tempo de construção e redução da área de canteiro de obras, entre outros.

Atualmente, com o grande avanço tecnológico, surgem inúmeros materiais para se dimensionar estruturas, cada um com uma metodologia distinta, e entre estes materiais, encontra-se o concreto armado, composto pelo conjunto de concreto, aço e a aderência entre esses materiais, sendo este de vasta utilização na construção civil, pela facilidade de mão de obra, capacidade de se moldar em formatos diversos, e alta resistência à compressão (PELLI, 2006 *apud* SANTOS, 2010).

Inicialmente, o concreto armado apresentava hegemonia nos processos construtivos, principalmente no que tange a construção de estruturas, porém, a busca por novas soluções arquitetônicas e estruturais aliadas ao aumento da produção industrial de aço no Brasil, possibilitou o desenvolvimento do processo construtivo estrutural misto aço-concreto (ALVA; MALITE, 2005 *apud* CORREA; DAUZACKER, 2015).

Este desenvolvimento está diretamente ligado à busca por novas técnicas construtivas e a evolução de um processo industrializado e eficaz para construção civil, a utilização do modelo estrutural misto proporciona a racionalização e o aumento da eficiência das construções (BRAGA; FERREIRA, 2011 *apud* CORREA; DAUZACKER, 2015).

1.1 JUSTIFICATIVA

O Brasil é um dos maiores produtores de minério de ferro do mundo, mas também um grande produtor de cimento. A associação do concreto com barras de aço é denominada concreto armado, amplamente utilizado em construções no país. Há também os sistemas mistos aço-concreto em que os perfis de aço laminados, dobrados ou soldados trabalham em conjunto com o concreto (SANTOS DA SILVA; GASPAR, 2014 *apud* KAMMERS, 2017).

As construções mistas estão cada vez mais ganhando destaques no país, mas somente cerca de 70% a 80% das obras poderiam ser executadas em sistemas mistos aço-concreto (SANTOS DA SILVA; GASPAR 2014, *apud* KAMMERS, 2017).

As estruturas mistas são projetadas de modo que as partes de concreto trabalhem a compressão, pois o concreto possui resistência á tração limitada, e os componentes de aço, exceto os pilares mistos, trabalhem predominantemente á tração, assim garante mais estabilidade a estrutura (FAKURY; SILVA; CALDAS, 2016).

Desta forma, o problema central desse trabalho é: Quais as principais vantagens e desvantagens de se utilizar as estruturas mistas (aço-concreto) na construção civil?

Tudo isso, justifica o propósito deste trabalho, que visa identificar pontos positivos para um avanço na construção civil, onde se tornaria uma construção mais rápida e com menos desperdícios.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar as estruturas mistas utilizadas na construção civil e identificar as principais vantagens e desvantagens construtivas.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Descrever o sistema construtivo das estruturas mistas;
- b) Identificar as principais vantagens e desvantagens das estruturas mistas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo Chaves (2001 *apud* FRANTZ, 2011) há alguns anos a estrutura em aço tornou-se mais usual em projetos de pavilhões industriais por todo o Brasil, competindo diretamente com os projetos em estruturas pré-fabricadas de concreto. Nesse sentido, vem ganhando espaço uma vez que disponibiliza de muitas vantagens. Os pavilhões industriais podem ser construídos com vários tipos de estruturas como madeira, concreto armado e alumínio. Entretanto, devido à grande resistência mecânica e a velocidade na execução, a estrutura em aço está em primeiro lugar nesse tipo de colocação.

Castro (2008 *apud* SCHLICHTING, 2018) afirma que existem momentos onde há particularidades que são necessárias de acordo com a obra, o terreno ou até mesmo em sua parte econômica. Para isso se faz necessário conhecer as propriedades dos materiais para que o mesmo atinja os requisitos necessários, e assim seja possível escolher a opção mais viável.

2.1 ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO

Define-se como concreto armado a associação de concreto mais aço. Para a utilização estrutural o concreto sozinho não é adequado como elemento resistente, pois possui uma boa resistência à compressão e pouca a tração. O aço é o material utilizado para aumentar a resistência do concreto em relação à tração. São possíveis os dois materiais trabalharem juntos devido à aderência entre a superfície do concreto e do aço. Portanto pode-se definir que o concreto armado é obtido por meio da associação do concreto mais a armadura inserida dentro do mesmo para que trabalhem juntos em relação aos esforços solicitados (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2014), qualquer material utilizado em estruturas apresenta vantagens e desvantagens. Entre as vantagens do concreto armado como estrutura está:

- a) fácil trabalhabilidade, se adapta de várias formas e dimensões;
- b) técnicas de execução muito difundida por todo o país;
- c) custo bastante competitivo comparado com outros sistemas;
- d) apresenta uma boa resistência a choques, vibrações, efeitos térmicos e atmosféricos.

Entre as desvantagens do concreto armado como estrutura, podem ser citadas os seguintes itens:

- a) resulta em elementos com dimensões maiores do que se fosse aço;
- b) peso próprio elevado;
- c) reformas e ampliações podem ser custosas.

2.1.1 Sistema construtivo

2.1.1.1 Sapatas

Dentre as fundações, a sapata isolada, são elementos de fundação superficial de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele produzidas não sejam resistidas pelo concreto, mas sim pelo emprego da armadura. Pode possuir espessura constante ou variável, sendo sua base em planta normalmente quadrada, retangular ou trapezoidal. Estas são consideradas da mesma ordem de grandeza, também utilizadas quando as cargas transmitidas pela superestrutura são pontuais ou concentradas, como as cargas de pilares e as reações de vigas na fundação (vigas baldrame) (VELLOSO, 2010 *apud* MEDEIROS; PACHECO, 2019).

2.1.1.2 Vigas

Conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014) as vigas são elementos lineares em que a flexão é predominante.

As vigas podem ser ditas como elementos horizontais, no qual são responsáveis por receber os esforços das lajes, de outras vigas, paredes de vedação e pilares. Sua função é de vencer vãos e transmitir os esforços depositados nelas para os apoios, que normalmente são os pilares. As vigas possuem armaduras que geralmente são compostas por armaduras transversais e armaduras longitudinais (BASTOS, 2006).

2.1.1.3 Pilares

De acordo com Bastos (2006), os pilares têm grande importância no funcionamento da estrutura, tanto na sua capacidade de resistir, quanto na segurança. São utilizados para transmitir todas as cargas verticais da estrutura para a fundação, podendo também transmitir para outros elementos de apoio. São transmitidos para os pilares os esforços provenientes das vigas e das lajes.

2.1.1.4 Lajes

As lajes são os elementos planos que recebem grande parte dos esforços da estrutura em si, esses esforços podem ser de moveis, pessoas, pisos, paredes, pilares apoiados sobre as lajes, além também de seu peso próprio. Essas cargas são normalmente transmitidas para as vigas, mas também pode ser transmitida diretamente aos pilares (BASTOS, 2006).

2.2 AÇO

De acordo com Bellei (2003 *apud* FRANTZ, 2011), as primeiras obras de aço datam de 1750, quando se descobriu a maneira de produzi-lo industrialmente. Seu emprego estrutural foi feito na França por volta de 1780, na escadaria do Louvre e no Teatro de Palais Royal, e na Inglaterra, em 1757, onde se fez uma ponte de ferro fundido, porém, a sua grande utilização em edificios deu-se em 1880 nos Estados Unidos, principalmente em Chicago. O início da fabricação do ferro no Brasil deu-se por volta de 1812. Acredita-se que a primeira obra a usar ferro pudlado, fundido no Brasil, no estaleiro Mauá, em Niterói, RJ, foi a Ponte de Paraíba do Sul, no Estado do Rio de Janeiro.

Queiroz, Pimenta e Mata (2001, p. 42) mencionam que “o aço é basicamente uma liga de ferro-carbono com alguns elementos adicionais, podendo ter suas propriedades mecânicas alteradas por meio de conformação mecânica ou tratamento térmico”. Os aços são classificados de acordo com sua composição química, sendo mais comumente utilizados os aços-carbonos, aços de baixa liga com alta resistência mecânica e os aços resistentes a corrosão atmosférica.

Fakury, Silva e Caldas (2016, p. 13) diz que “Quanto às propriedades mecânicas, os aços estruturais devem ter nível apropriado de resistência mecânica, ductilidade, tenacidade, resiliência, soldabilidade, dureza superficial e homogeneidade”.

2.2.1 Ductilidade

A ductilidade é a capacidade ou propriedade que o material tem de apresentar grande deformação antes da ruptura. Nas obras isso é mais visível quando se trata das vigas que podem sofrer grandes deformações antes da ruptura (DIAS, 2006).

Pfeil (1992 *apud* SCHLICHTING, 2018) mostram que a ductilidade pode ser medida de três formas, sendo pela deformação unitária até a ruptura, pela redução porcentual da área na seção de ruptura e por ensaios de dobramento.

2.2.2 Tenacidade e resiliência

Essas propriedades estão relacionadas com a capacidade do aço de absorver energia mecânica, também vistas como diagrama tensão-deformação. Ainda menciona que na tenacidade trabalha-se com energia total, nos estágios elástico e plástico, que o material pode absorver até sua ruptura (CASTRO, 2008 *apud* SCHLICHTING, 2018).

De acordo com Dias (2006), na resiliência a energia mecânica é absorvida no estágio de elasticidade, o que lhe proporciona a capacidade de restituir a energia absorvida.

2.2.3 Elasticidade

Segundo Castro (2008 *apud* SCHLICHTING, 2018), quando fala-se de elasticidade pensa-se na capacidade de um material que quando sob efeito de tração expande sua forma até certa limitação e após dissolver este carregamento retorna a seu estado original. O aço trabalha em sua fase elástica, onde a sua deformação é proporcional aos esforços aplicados.

2.2.4 Plasticidade

A plasticidade é o segundo estágio da expansão do aço, pois o mesmo não retorna ao tamanho original de seu escoamento. Em construções procuramos impedir que a tensão ultrapasse o limite de escoamento nas seções das barras, como forma de limitar a suas deformações (CASTRO, 2008 *apud* SCHLICHTING, 2018).

2.3 CONCRETO

Queiroz, Pimenta e Mata (2001, p. 37) afirmam que:

O concreto é um material frágil, composto basicamente de argamassa (cimento, agregados miúdos, água e aditivo) e de agregados graúdos, contendo um grande número de microfissuras mesmo antes de serem sujeitos a cargas externas.

Por ser muito utilizado na construção civil e os componentes do concreto estarem presentes em todas as regiões do Brasil, a utilização do concreto possui algumas vantagens como custo mais baixo dependendo do tipo de construção, boa adaptabilidade, resistência natural de 1 a 3 horas contra o fogo, resistência a choques e vibrações, dependendo da execução

possuem grande resistência às intempéries, às ações atuantes e aos agentes agressivos. Mas também possuem desvantagens como baixa resistência à tração (cerca de 10% da sua resistência), baixa resistência por unidade de volume com elevada massa específica, alterações de volume que são provocados pela retração e fluência, e necessidade da utilização de formas e escoramentos (KAMMERS, 2017).

2.3.1 Propriedades do concreto fresco

2.3.1.1 Trabalhabilidade

Neville (2016) cita que a trabalhabilidade do concreto pode ser definida como uma propriedade física, um concreto que pode ser facilmente adensado é considerado um concreto trabalhável. Para chegar a essa definição, é fundamental considerar o que acontece quando o concreto está sendo adensado. O adensamento, seja ele realizado por apiloamento ou pelo método de vibração, constitui-se na supressão do ar retido no concreto até a obtenção da forma mais densa possível da mistura.

A trabalhabilidade do concreto fresco tem efeito direto na capacidade de bombeamento e na construtibilidade, porque determina a facilidade com que a mistura de concreto pode ser manipulada sem que haja segregação prejudicial. Na maioria das vezes, uma mistura de concreto de difícil lançamento e adensamento não somente aumenta o custo de manipulação, mas também terá pouca resistência, durabilidade e aparência eficiente. Da mesma forma, dosagens que tendam a segregar e exsudar são mais caras na realização do acabamento e resultarão em um concreto menos durável. Dessa forma, a trabalhabilidade pode afetar tanto o custo quanto a qualidade do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

O método mais utilizado para avaliação de trabalhabilidade é o abatimento pelo tronco de cone, ou, mais conhecido como slump. É o mais empregado por conta de sua fácil execução, rapidez, por ter equipamentos de utilização simples e por seu baixo custo (RECENA, 2011 *apud* FIRMINO; ARAÚJO, 2018).

2.3.1.2 Segregação

A segregação pode ser definida como a separação dos constituintes de uma mistura heterogênea, de modo que suas distribuições não sejam mais uniformes. No caso do concreto, as diferenças entre as dimensões das partículas e entre a massa específica dos constituintes da

mistura são as principais causas da segregação, mas seu grau pode ser controlado pela escolha da granulometria apropriada e pelo manuseio cuidadoso (NEVILLE, 2016).

A avaliação da segregação baseia-se na capacidade de avaliação e interpretação dos tecnólogos de concreto através de observação visual. Recorrentemente ocorre a inspeção do concreto endurecido por testemunhos extraídos que, geralmente, auxiliam na conclusão se houve segregação excessiva, através de ensaios de ultrassom (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

2.3.1.3 Exsudação

A exsudação ocorre quando uma parte da água segrega da mistura, subindo para a superfície após o concreto ter sido lançado e adensado, porém, antes do processo de pega. A água sobe, pois, devido à falta de finos, o concreto não consegue retê-la (OLIVEIRA; FENILLI, 2019).

Se água de exsudação evaporar muito rápido, o concreto sofre uma forte retração, que pode causar fissuração. Além da retração, a exsudação pode prejudicar a aderência e a resistência do concreto (OLIVEIRA; FENILLI, 2019).

A exsudação pode não ser necessariamente prejudicial, desde que não determine perturbações na estrutura do concreto. Nesse caso, a água, ao evaporar, reduz a relação água/cimento e, conseqüentemente, haverá aumento de resistência (SOBRAL, 2000 *apud* OLIVEIRA; FENILLI, 2019).

2.3.2 Propriedades do concreto endurecido

2.3.2.1 Resistência mecânica

Mehta e Monteiro (2014) afirmam que a resistência de um material é definida como a capacidade de resistir a tensão sem ruptura, sendo que esta, em determinadas situações é identificada com surgimento de fissuras. A resistência no concreto é relacionada com a tensão solicitada para causar fratura, ou seja, é o grau de ruptura onde a tensão aplicada atinge o seu valor máximo.

Um dos ensaios mais utilizados quando o concreto já está endurecido é a resistência à compressão, devido a sua praticidade de realização. Pelo fato das características desejáveis do concreto estarem relacionadas à sua resistência, sua importância é inerente da resistência à compressão do concreto no projeto estrutural (NEVILLE, 2016).

A resistência mecânica pode ser afetada pelos seguintes fatores: relação água/cimento, idade, forma e graduação dos agregados, tipo de cimento, forma e dimensão dos corpos de prova, velocidade de aplicação da carga de ensaio e duração da carga (PETRUCCI, 1980 *apud* FIRMINO; ARAÚJO, 2018).

2.3.2.2 Módulo de elasticidade

Como muitos outros materiais, o concreto não é elástico dentro de certos limites. Nesse sentido, um material é considerado perfeitamente elástico se surgem e desaparecem deformações imediatamente após a aplicação ou retirada de tensões (NEVILLE, 1997 *apud* OLIVEIRA; FENILLI, 2019).

Sendo os agregados menos porosos e mais densos, isso levará a um concreto com maior módulo de elasticidade. Um fator água/cimento alto levará a um acréscimo na quantidade de vazios no concreto, deixando-o menos denso e com módulo de elasticidade baixo. Em comparação, quanto menor for o módulo de elasticidade, menos rígido será o material; por outro lado, quanto maior for o módulo de elasticidade, maior será a rigidez do material (OLIVEIRA; FENILLI, 2019).

2.3.2.3 Durabilidade

O concreto é suscetível a ações externas, por natureza física, química ou a junção destas. Por este motivo é imprescindível ressaltar que a durabilidade de um concreto, dependerá do ambiente em que se encontrará durante o decorrer de sua vida, de como será tratado, mantido e utilizado, levando em consideração que existirá situações em que seu emprego será condicionado à aplicação de proteção superficial para evitar um deterioramento precoce (RECENA, 2011 *apud* FIRMINO; ARAÚJO, 2018).

É primordial que cada estrutura continue a desempenhar suas funções previstas em projeto, juntamente com uma boa condição de utilização durante sua vida útil. Porém a durabilidade não significa uma vida infinita, visto que o esperado é que o concreto suporte todo o processo de deterioração a qual será exposto, e caso não seja efetuada as precauções necessárias, consequentemente afetará a sua durabilidade (NEVILLE, 2016).

2.4 ESTRUTURA METÁLICA

As estruturas são feitas de variadas peças metálicas, que depois são dispostas e ligadas entre si por meio de solda ou parafusos. Seções transversais limitadas em função da capacidade dos laminadores e seus comprimentos limitados em função dos transportes disponíveis são algumas desvantagens do uso de peças. O tipo de ligação mais utilizado é por meio de parafusos, rebites também eram utilizados para ligação entre os elementos, mas o uso está sendo extinto devido a sua pouca qualidade de fixação (SILVA; PIRES, 2016).

Uma estrutura metálica é feita por procedimentos industriais, caracterizados pela racionalização. A eficiência da fabricação e da montagem de uma estrutura está relacionada ao detalhamento criterioso de seu projeto e à compatibilização de projetos e sistemas complementares. Somente dessa forma pode-se usufruir das vantagens da escolha do aço como elemento construtivo, vantagens estão como: ganhos de produtividade e prazos, organização do canteiro de obra e diminuição do desperdício de materiais (SILVA; PIRES, 2016).

2.4.1 Vantagens da estrutura metálica

O aço permite que possa-se projetar edificações com vãos maiores devido ao módulo de elasticidade do material, permitindo utilizar melhor o espaço do ambiente projetado, diminuindo o esforço sobre as fundações e gerando economia no empreendimento. Os perfis utilizados na execução das estruturas metálicas são produzidos em indústria, onde possuem um controle de qualidade padronizado, garantindo maior confiabilidade e qualidade nas peças fabricadas, comparado com o método convencional de concreto armado produzido in loco (PEREIRA, 2018 *apud* MEDEIROS; PACHECO, 2019).

De acordo com Bellei (2006 *apud* SILVA; PIRES, 2016), menor prazo de execução: a fabricação da estrutura em paralelo com a execução das fundações, a possibilidade de se trabalhar em diversas frentes de serviços simultaneamente, a diminuição de formas e escoramentos e o fato da montagem da estrutura não ser afetada pela ocorrência de chuvas, pode levar a uma redução de até 40% no tempo de execução quando comparado com os processos convencionais.

2.4.2 Desvantagens da estrutura metálica

Segundo Pinheiro (2005) é necessário efetuar um tratamento superficial dos elementos metálicos, para evitar a oxidação das peças devido ao contato com oxigênio.

É necessário obter maior cuidado com a estrutura metálica, em relação à exposição ao fogo, em função da dilatação térmica e perda de resistência do aço (PEREIRA, 2018 *apud* MEDEIROS; PACHECO, 2019).

De acordo com Pinheiro (2005) para a execução das estruturas metálicas, é necessário obter mão de obra e equipamentos especializados e qualificados.

2.5 ESTRUTURAS MISTAS

Pelo fato de os elementos estruturados em aço serem mais esbeltos, quando comparados com os equivalentes em concreto, pode-se afirmar que estes são mais suscetíveis à ação do fogo que os elementos em concreto. Desta forma, alguns materiais desde o fim do século XIX foram utilizados como materiais de revestimento, protegendo a estrutura metálica do fogo e da corrosão. O concreto foi utilizado com esta finalidade (FIGUEIREDO, 1998).

Dessa necessidade, que surgiram as estruturas mistas de aço e concreto, onde inicialmente, a associação do concreto ao perfil metálico era usada apenas como técnica de revestimento contra fogo e anticorrosivo. Apesar de exercer contribuição estrutural, a resistência acrescida pelo concreto ao elemento era desconsiderada nos cálculos (FIGUEIREDO, 1998).

A partir de então, com o aumento da produção de aço estrutural no Brasil e com a busca de novas soluções arquitetônicas e estruturais, foram construídos vários edifícios utilizando-se do sistema misto nos últimos anos (SOUZA E SILVA; OLIVEIRA, 2015).

A Figura 1 e 2 a seguir apresenta um edifício construído em estrutura mista.

Figura 1 - Edifício The One – São Paulo



Fonte: Innova, 2021.

Figura 2 - Edifício The One em construção – São Paulo



Fonte: Or, 2021.

2.5.1 Métodos construtivos das estruturas mistas

Na escolha do método construtivo de edifícios mistos busca-se aliar a rigidez do concreto com a rápida velocidade de construção proporcionada pelo aço. Uma decisão importante é a definição se o núcleo ou a estrutura metálica é construída primeiro. Quando se ergue o núcleo antecipadamente, é possível utilizá-lo como circulação vertical e, apesar da estrutura metálica não ser montada tão rapidamente, geralmente implica em um menor tempo total de execução. Para a construção do núcleo pode-se utilizar formas deslizantes (TARANATH, 2012 *apud* CARINI, 2014).

2.5.1.1 Método com núcleo rígido

Neste sistema o núcleo pode ser projetado de modo a resistir a todo o carregamento horizontal e a torção, enquanto os demais elementos resistem somente ao carregamento vertical. Com isso toda a periferia pode ser conectada com ligações flexíveis, proporcionando economia e rapidez construtiva. Uma vez que os pilares suportam somente cargas verticais, eles tendem

a ser esbeltos, aumentando o aproveitamento do espaço interno (ALVA, 2000 *apud* CARINI, 2014).

O núcleo pode ser formado por vários elementos, dentre eles pode-se citar paredes de concreto armado, treliças metálicas ou mistas, pilares e vigas formando um pórtico espacial rígido ou paredes mistas aço-concreto. Recomenda-se posicionar o centro de massa dos núcleos o mais próximo possível do centro de massa da edificação, minimizando os efeitos da torção (FABRIZZI, 2007 *apud* CARINI, 2014).

2.5.1.2 Método com pórtico rígido

De acordo com Alva (2000 *apud* CARINI, 2014) os sistemas em pórticos podem ser entendidos como a associação de pórticos planos, os quais são constituídos por vigas e pilares conectados rigidamente. Portanto, a estabilidade global é conferida por pórticos planos dispostos nas duas direções, constituindo um pórtico tridimensional.

A deformação lateral, assim como em uma viga em balanço, pode ser dividida em duas partes, uma parcela relativa à flexão e a outra ao corte. Na primeira, a força exercida pelo vento faz com que os pilares de barlavento sofram um alongamento e os de sotavento um encurtamento, causando a flexão da estrutura em conjunto, com inclinação crescente ao longo da altura. O deslocamento por corte resulta da flexão das vigas e pilares isoladamente, com um giro aproximadamente constante ao longo dos pavimentos, e em edifícios de até 20 pavimentos normalmente predomina, representando cerca de 70% do deslocamento lateral da estrutura (TARANATH, 2012 *apud* CARINI, 2014).

A resistência ao carregamento lateral é basicamente governada pela rigidez a flexão das vigas e pilares individualmente, sendo essa rigidez inversamente proporcional ao comprimento do elemento. Normalmente o vão das vigas é maior do que a altura dos pilares, portanto, quando for necessário reduzir o deslocamento lateral de um reticulado rígido, deve-se, primeiramente, adicionar rigidez às vigas. Cabe ressaltar que as conexões desempenham papel importante, evitando o giro relativo entre os elementos, e caso esta restrição não for efetiva, o deslocamento lateral aumenta consideravelmente (TARANATH, 2012 *apud* CARINI, 2014).

2.5.1.3 Método tubular

A ideia dos sistemas tubulares é dispor, na periferia do edifício, pilares pouco afastados, conectados rigidamente a vigas, formando uma estrutura tridimensional eficiente para prédios

altos. O eixo de maior inércia dos pilares é colocado perpendicularmente à fachada, garantindo uma maior rigidez ao sistema. Os pilares internos podem ser projetados para receber somente carregamento vertical, dando liberdade ao projeto arquitetônico do interior do edifício (TARANATH, 2012 *apud* CARINI, 2014).

Para prédios muito altos, como no caso do World Trade Center e seus 110 pavimentos, o pórtico se torna muito denso, ditando a arquitetura da fachada. Uma forma de aumentar a eficiência é adicionando barras diagonais, englobando vários andares. Conseqüentemente a estrutura se comporta como uma treliça, diminuindo a flexão das vigas e pilares e praticamente eliminando o efeito shear lag (TARANATH, 2012 *apud* CARINI, 2014).

2.5.2 Vantagens e desvantagens das estruturas mistas

O uso de elementos mistos aço-concreto na construção de estruturas, apresenta vantagens na redução de custos e rapidez de execução, proporcionados pela união da rigidez do concreto na resistência aos carregamentos laterais, o menor peso do aço e sua capacidade de vencer vãos maiores em estruturas tipo pórtico (ALVA; MALITE, 2005 *apud* CORREA, 2015).

Em relação à praticidade de execução, as estruturas mistas possibilitam montagem in loco, que se assemelha ao de estruturas metálicas. Em resumo, apesar de exigir maior qualificação de mão-de-obra, tem-se um canteiro de obra mais limpo. A industrialização na produção de edifícios, possível com os elementos mistos, é um objetivo almejado baseado nas ideias de gestão da qualidade e racionalização, onde o controle da produção leva a melhores produtos finais e maior economia (OLIVEIRA, 2004).

Quanto à eficiência da associação aço e concreto na forma de elementos mistos, Toledo (2009), infere que esta possui forte vínculo com o tipo de solicitação a que cada componente estará sujeito no sistema estrutural. Desta forma, é cabível inferir que é interessante posicionar o concreto em regiões comprimidas e o aço nas regiões em que há tração, justamente explorando as potencialidades de cada material quando sujeito às devidas solicitações.

Apesar de ter muitas vantagens, Oliveira (2004) cita que, as escolas de formação profissional de engenharia e arquitetura, em sua maioria, adotam grade curricular com prioridade na produção de edifícios com estrutura de concreto armado, não disseminando os outros sistemas. Formam-se profissionais inseguros quanto à atuação em outros modelos estruturais.

Outro motivo de retardo nos avanços da utilização de construção mista é a visão que muitos idealizadores do projeto (arquitetos, engenheiros, proprietários) apresentam, rotulando

as estruturas mistas como não harmonicamente arquitetônica. O afastamento entre engenheiros e arquitetos diminui significativamente o desempenho do trabalho em equipe multidisciplinar, inibindo o desenvolvimento de sistemas que exigem a conciliação dos desenvolvimentos destes profissionais (SOUZA E SILVA, OLIVEIRA, 2015).

2.6 ESTUDO COMPARATIVO

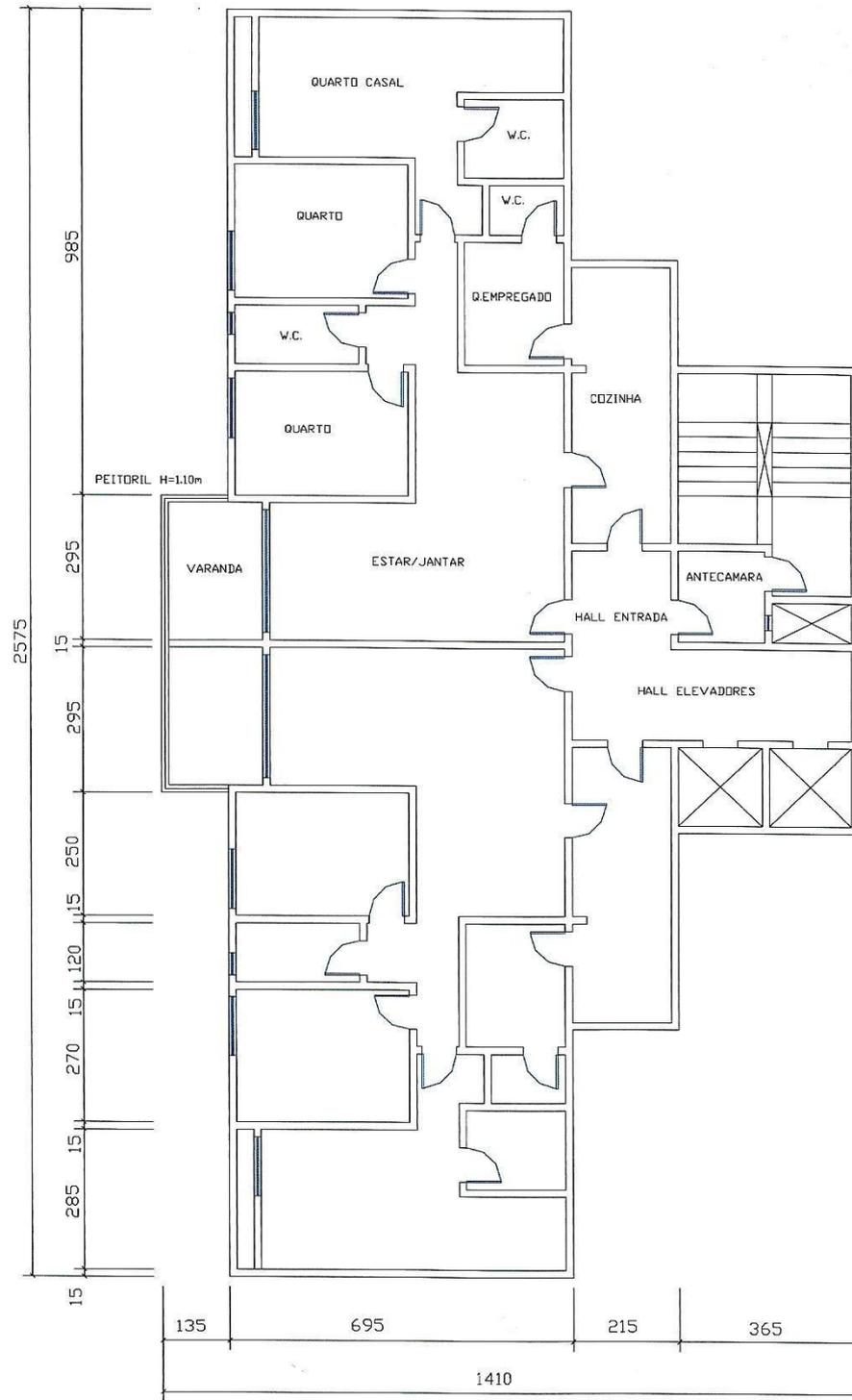
Este estudo desenvolveu uma análise de viabilidade de um edifício-exemplo elaborado por Albuquerque (1998) em concreto armado, e utilizada por Santos (2010) para o dimensionamento do mesmo considerando sistemas estruturais mistos aço-concreto.

2.6.1 Dados do edifício exemplo

O edifício-exemplo em estudo consiste em uma edificação com dois apartamentos de 105 m² por pavimento. Para fins de simplificação, foi considerado que o edifício possui 20 pavimentos, todos iguais ao tipo, com distância de piso-a-piso de 2,88m, totalizando uma edificação de 57,60m de altura. Apesar de influenciarem consideravelmente na concepção estrutural, não foram considerados os pavimentos de cobertura, mezanino, pilotis e subsolo.

A Figura 3 a seguir apresenta a planta baixa do pavimento tipo estudado por Albuquerque (1998).

Figura 3 - Planta baixa pavimento tipo



Fonte: Albuquerque, 1998

Na Tabela 1 são apresentados os pesos específicos e as cargas acidentais analisados por Albuquerque (1998).

Tabela 1 - Pesos específicos e cargas

Pesos Específicos	
Blocos cerâmicos	13 kN/m ³
Concreto Armado	25 kN/m ³
Areia com umidadenatural	17 kN/m ³
Cargas Acidentais	
Pisos (quartos, sala, copa, cozinha e banheiro)	1,5 kN/m ²
Pisos (dispensa, área de serviço e lavanderia)	2,0 kN/m ²
Escadas sem acessopúblico	2,5 kN/m ²
Cargas Horizontais	
Parapeitos	0,8 kN/m
Balcões	0,8 kN/m
Cargas Verticais – Mínima	
Parapeitos	2,0 kN/m
Balcões	2,0 kN/m
Revestimentos + Pavimentação	
Carga permanente	1 kN/m ²

Fonte: Albuquerque, 1998.

2.6.2 Dimensionamento com estruturas convencionais e laje maciça

Entende-se por estrutura convencional aquela em que as lajes se apoiam em vigas no sistema laje-viga-pilar. Devido ao seu elevado peso próprio, lajes maciças são impossibilitadas de vencer grandes vãos. Por isso, tornou-se comum adotar como vão médio econômico de lajes um valor de 3,5m a 5m (ALBUQUERQUE, 1998).

A resistência do concreto que foi utilizada nessa opção será $f_{ck} = 35$ MPa (para pilares e vigas) e $f_{ck} = 20$ MPa (para lajes).

Considerando a proposta de estruturas convencionais e laje maciça, abaixo segue tabela 2 com consumos de materiais:

Tabela 2 - Consumo de matérias

Elemento	Volume de Concreto (m³)	Aço (kg)	Área de forma (m²)
Lajes	366,00	18.389	4.234,60
Vigas	244,60	36.888	3.535,00
Pilares	206,80	21.777	1.872,00
Total	817,40	77.054,00	9.641,60

Fonte: Santos, 2010.

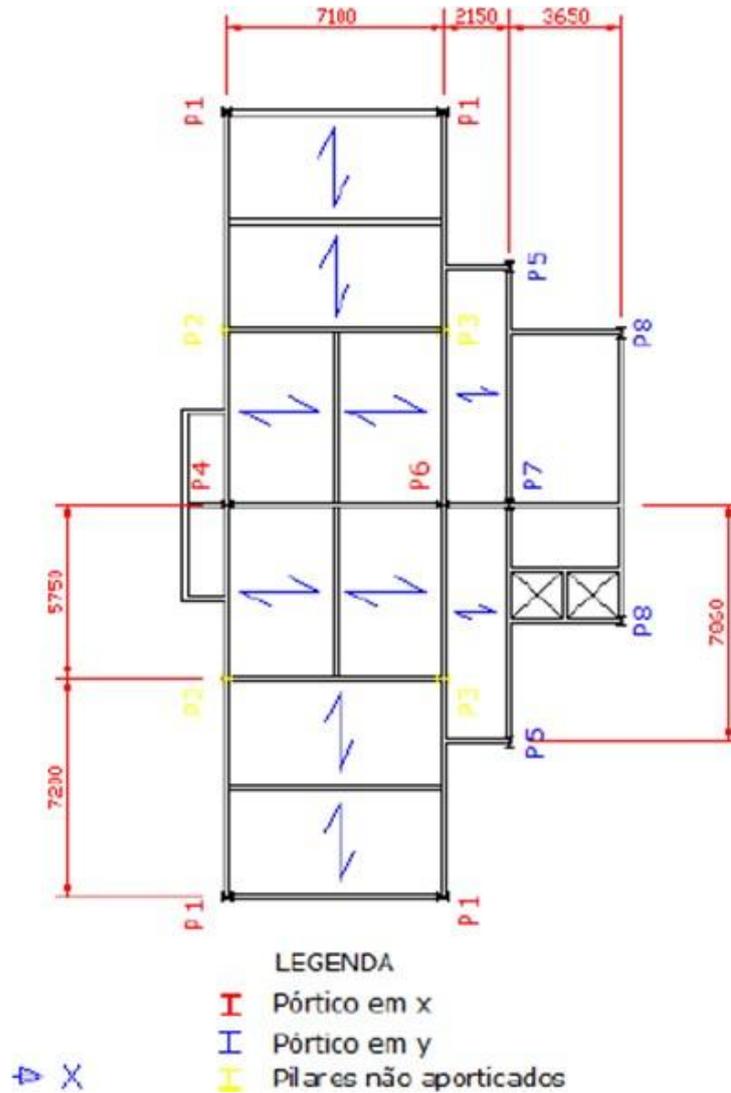
2.6.3 Dimensionamento com estruturas mistas aço-concreto

O lançamento estrutural em concreto armado realizado por Albuquerque (1998) foi então, analisada e processada por Santos (2010), considerando sistema estrutural misto aço/concreto. Para o dimensionamento foram adotadas as seguintes hipóteses:

- a) todas as bases são rotuladas, exceto as dos pórticos utilizados no travamento da estrutura;
- b) as ligações também foram rotuladas, excetuando-se os pórticos de travamento.

A figura 4 a seguir, apresenta estrutura utilizada para o dimensionamento executado por Santos (2010):

Figura 4 - Planta de estrutura aporticada



Fonte: Santos, 2010.

Para estabilização lateral da estrutura foi adotado o sistema de pórticos rígidos. As vigas localizadas nos pórticos consideradas como sendo de aço isoladas, e as demais mistas de aço e concreto. Lajes dimensionadas como sendo mistas utilizando a forma de aço incorporada (*steeldeck*). Todos os pilares dimensionados como mistos de aço e concreto (SANTOS, 2010).

A tabela 3 a seguir apresenta o resumo das ações supracitadas:

Tabela 3 - Ações consideradas para o dimensionamento

Ações Consideradas para Dimensionamento do Edifício em Estrutura Mista	
Ações Permanentes	
Peso Próprio – Laje h=16 cm	3,02 kN/m ²
Revestimento +Pavimentação	1,0 kN/m ²
Alvenaria e Blocos Cerâmicos	1,25 kN/m ²
Painéis de Vidro com Esquadrias de Alumínio	1,5 kN/m ²
Ações variáveis	
Sobrecarga de Utilização - Cobertura	0,5 kN/m ²
Pisos residenciais 1	1,5 kN/m ²
Pisos residenciais 2	2,0 kN/m ²
Escada sem acesso público	2,5 kN/m ²

Fonte: Santos, 2010.

As propriedades geométricas dos elementos de seção mista foram obtidas a partir da homogeneização teórica da seção formada pelo componente de aço e pela largura contribuinte em concreto. Com isso, a região de concreto é transformada em uma área equivalente em aço. Todas as propriedades geométricas são calculadas considerando a seção transformada em aço (SANTOS, 2010).

Considerando a proposta de estruturas mistas aço-concreto, abaixo segue tabela com consumos de materiais.

Tabela 4 - Consumo de Materiais para o dimensionamento em estrutura mista

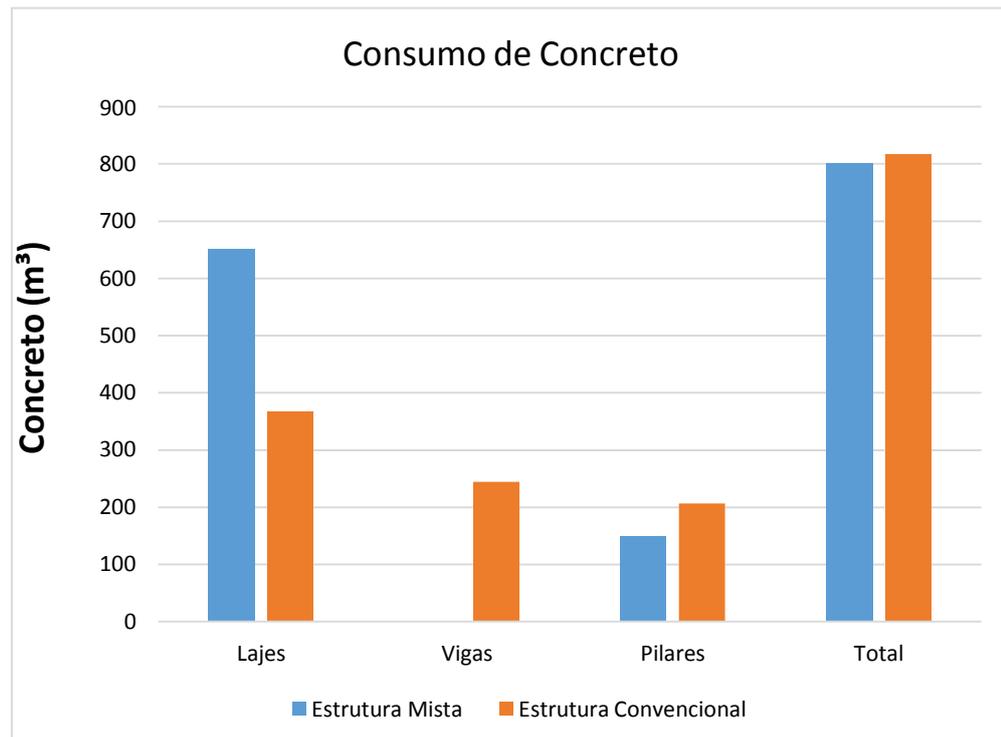
Consumo de Materiais para Estrutura Mista					
Elemento	Volume de Concreto (m³)	Aço Estrutural - Perfis (kg)	Steel Deck (kg)	Aço - Armadura (kg)	Área de forma (m²)
Lajes	651,70	0,00	77.831,60	7.873,60	0,00
Vigas	0,00	140.104,00	0,00	0,00	0,00
Pilares	148,69	108.480,00	0,00	4.295,00	0,00
Total	800,39	248.584,00	77.831,60	12.168,60	0,00

Fonte: Santos, 2010.

2.6.3.1 Consumo de concreto

A figura 5 apresenta o comparativo do consumo de concreto nos elementos estruturais:

Figura 5 - Consumo de Concreto



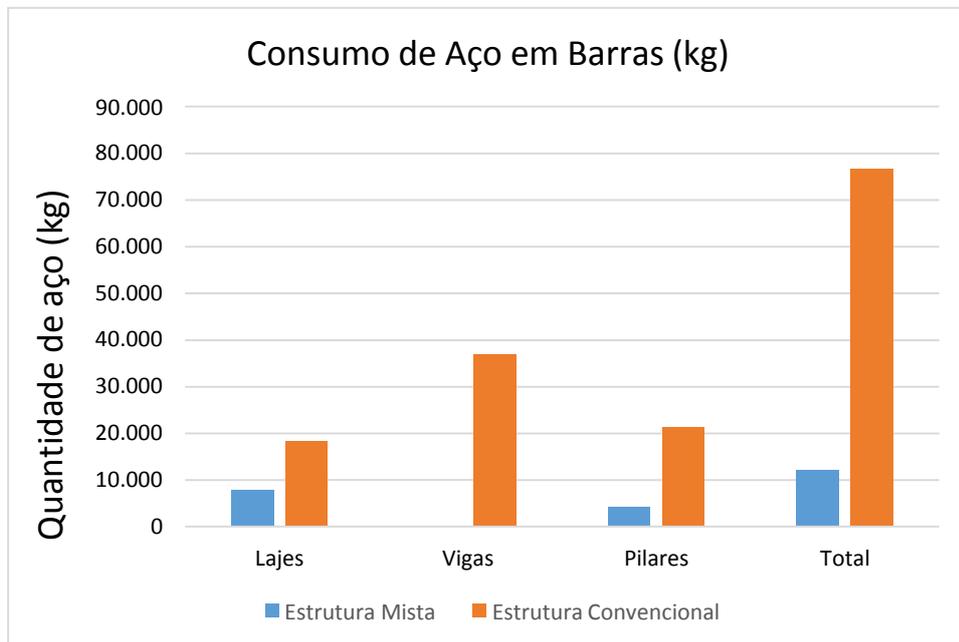
Fonte: Santos, 2010.

O consumo de concreto em estruturas convencionais é ligeiramente superior ao consumo em elementos mistos. Porém, o desperdício relativo ao concreto em obras que adotam o sistema convencional de lajes maciças e os demais elementos em concreto armado pode chegar a 25% (MALITE, 1990).

2.6.3.2 Consumo de aço em barras e perfis

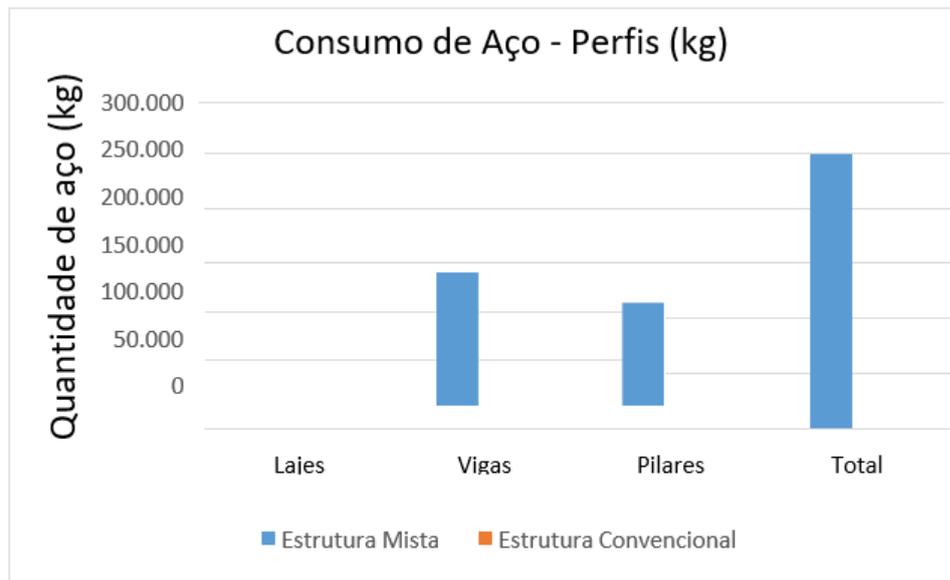
O consumo de barras de aço em todos os elementos da estrutura dimensionada em sistema misto foi inferior ao consumo em estrutura convencional. A economia das armaduras de aço no sistema misto ficou em aproximadamente 85% em relação ao sistema em concreto armado (AFONSO, 2014). As Figuras 6 e 7 apresentam um comparativo do consumo das armaduras de aço.

Figura 6 - Consumo de aço em barras



Fonte: Santos, 2010.

Figura 7 - Consumo de aço em perfis



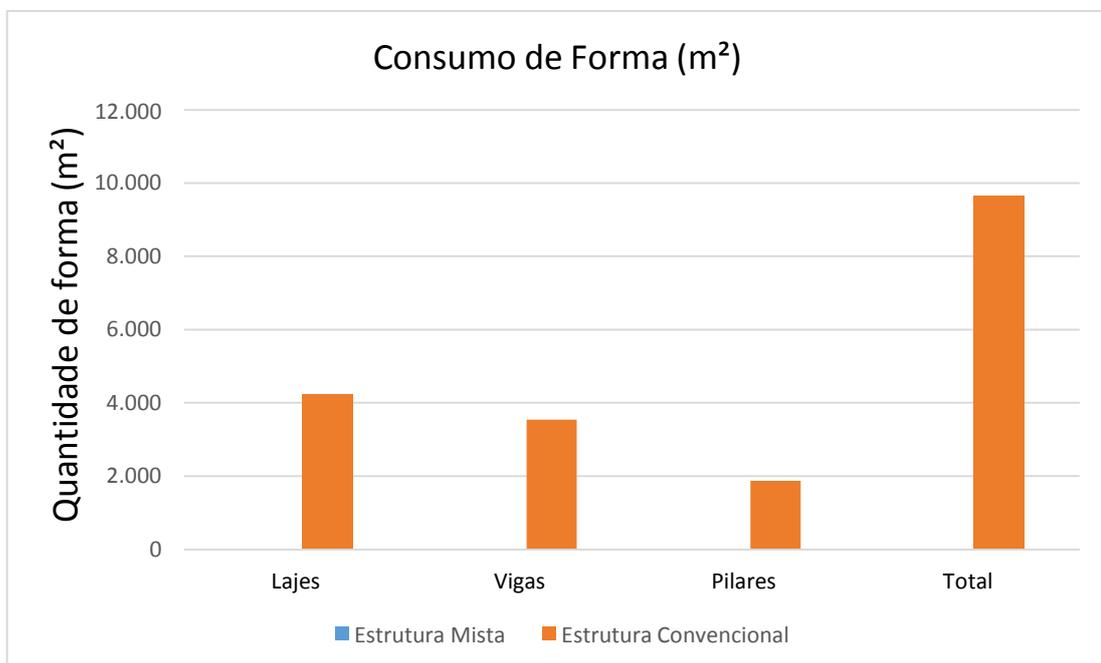
Fonte: Santos, 2010.

No sistema convencional se gasta um tempo maior para a execução da estrutura em concreto armado, quando comparado aos perfis estruturais de aço. Nas vigas, pilares e lajes, é necessário primeiramente executar o escoramento, confeccionar as formas, montar as ferragens, para depois a etapa de concretagem. Utilizando perfis de aço, eles já chegam prontos da indústria, apenas a montagem é feita no local da edificação (AFONSO, 2014).

2.6.3.3 Consumo de formas

Apenas no sistema convencional houve consumo de formas. No dimensionamento realizado por Santos (2010), os pilares mistos parcialmente revestidos foram pré-fabricados. Nesse sistema, o perfil I é concretado de um lado na posição horizontal, e quando o concreto atingir a resistência prevista em projeto, o outro lado então é concretado (AFONSO, 2014). A Figura 8 apresenta o consumo de formas.

Figura 8 - Consumo de formas



Fonte: Santos, 2010.

2.6.4 Custo das estruturas

Após coletar os dados relativos aos custos de volume de concreto, perfis de aço, barras de aço, fôrma de aço incorporada (*steel deck*) e formas de madeira, obteve-se o custo total para cada tipo de sistema estrutural (AFONSO, 2014).

Tabela 5 - Custo total da estrutura

Estrutura	Custo para Concreto de 25 MPa (R\$)	Custo para Barras de Aço (R\$)	Custo para Aço – Perfis (R\$)	Forma (R\$)	Steel Deck (R\$)	TOTAL (R\$)
Estrutura Mista	213.984,27	33.654,09	1.128.571,36	0,00	287.280,00	1.663.489,72
Estrutura Convencional	218.531,89	211.710,51	0,00	167.281,76	0,00	597.524,16

Fonte: Afonso, 2014.

3 METODOLOGIA

O objetivo desta pesquisa é ter como característica uma abordagem qualitativa a partir de uma revisão de literatura. Terá como fim, elucidar o conhecimento sobre as estruturas mistas e suas particularidades construtivas.

Quanto ao nível, em se tratando de pesquisa qualitativa, o exploratório foi o adotado, onde o pesquisador busca o aprofundamento no tema. Existem estudos de caso exploratórios, descritivos e explicativos. O que diferencia esses níveis não é a hierarquia, mas, três outras condições dadas pelo: tipo de questão de pesquisa proposta; extensão do controle que o pesquisador tem sobre eventos comportamentais atuais e, no grau de enfoque em acontecimentos contemporâneos em oposição à acontecimentos históricos (YIN, 2005).

Sobre nível exploratório, Gil (1999, p. 43) diz que “as pesquisas exploratórias têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista, a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores”.

Inicialmente será realizada uma pesquisa bibliográfica para conseguir obter maior conhecimento sobre o tema. A pesquisa bibliográfica permite ao pesquisador o contato direto com tudo o que foi publicado ou registrado sobre o assunto estudado.

Essa pesquisa será realizada por meios de artigos científicos, pesquisados no período de Agosto de 2020 até Junho de 2021, encontrados a partir das bases de dados utilizando as palavras chaves: aço, concreto, estrutura metálica, vantagens das estruturas mistas, particularidades construtivas, na língua portuguesa.

Os artigos selecionados têm como objetivo mostrar maiores conhecimentos sobre o tema da pesquisa e serão incluídos artigos que mostram revisão de literatura sobre estruturas mistas e suas particularidades construtivas.

Na etapa 1 foi aplicado um questionário por meio de coleta de informações dos engenheiros civis da cidade de Tubarão SC, utilizando-se um formulário com perguntas abertas para verificar qual o melhor sistema construtivo a ser aplicado no dia a dia, elaboradas em uma ferramenta online, no qual, através de gráficos são geradas informações, conseguindo assim, abranger um grande número de empresas, objetivando obter grandes quantidades de informações que auxiliam na análise dos objetivos propostos. No quadro 1 abaixo segue questionário utilizado para coleta de informações.

Quadro 1 – Questionário aplicado aos engenheiros civis

Questionário
1- Você conhece o sistema estrutural misto (aço-concreto)? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
2- Qual sistema estrutural você utiliza? <input type="checkbox"/> Sistema convencional (concreto armado) <input type="checkbox"/> Sistema misto (aço- concreto) <input type="checkbox"/> Outros
3- Você acha viável a utilização do sistema estrutural misto do ponto de vista econômico? Faça uma breve justificativa. <input type="checkbox"/> Sim. _____ <input type="checkbox"/> Não. _____
4- Você acha interessante o uso do sistema misto (aço- concreto)? se sim, por qual motivo? <input type="checkbox"/> Prazos de execução <input type="checkbox"/> Racionalizar recursos <input type="checkbox"/> Vãos livres maiores <input type="checkbox"/> Diminuir a quantidade de operários no canteiro de obra
5- Com base no seu conhecimento, qual sistema você indicaria? <input type="checkbox"/> Convencional <input type="checkbox"/> Misto

Fonte: Elaboração do autor, 2021.

A etapa 2 foi a discussão dos resultados que verificou o que foi realizado nas etapas anteriores, a fim de entender as particularidades construtivas.

Além disso, foram confrontadas as vantagens e desvantagens de cada sistema construtivo, possibilitando facilitar uma tomada de decisão mais assertiva, e indo além apenas dos valores.

Ainda, foi considerado o questionário realizado na etapa 1, que possui o objetivo de compreender o conhecimento dos engenheiros civis de Tubarão SC acerca das estruturas mistas.

E na etapa 3 será descrita a conclusão, ou seja, a finalização do desenvolvimento desse trabalho e o reforço da ideia principal do mesmo.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com a aplicação deste trabalho, consegue-se demonstrar como funciona um sistema pouco utilizado na construção civil, que é o sistema das estruturas mistas, sendo assim, foi realizada a comparação ao sistema convencional, que é um processo mais usado.

De acordo com Castro (2008 *apud* SCHLICHTING, 2018), ele afirma que existem momentos onde há particularidades que são necessárias de acordo com a obra, o terreno ou até mesmo em sua parte econômica. Então para se ter uma certeza de qual sistema utilizar, é preciso analisar diversas particularidades, para depois tomar uma decisão.

Discordando com o apontamento, Chaves (2001 *apud* FRANTZ, 2011), cita que, devido à grande resistência mecânica e a velocidade na execução, a estrutura em aço está em primeiro lugar nesse tipo de colocação. Para ele não importa mais nada além da resistência e velocidade de execução, com isso, se tornando o melhor sistema estrutural a se utilizar.

As estruturas mistas possuem inúmeras vantagens, desde vencer grandes vãos até reduzir o peso total da estrutura, aliviando as cargas na fundação, e também por reduzir ou até dispensar o uso de formas e ter mais precisão de cálculos devido ao controle das propriedades do aço.

Concordando com o parágrafo anterior, Oliveira (2004) ainda acrescenta que as estruturas mistas possibilitam montagem in loco, tendo mais praticidade de execução e um canteiro de obra mais limpo. Portanto, a industrialização na construção de edifícios, se torna uma grande vantagem para área da construção, pois se tem mais gestão de qualidade, racionalização e controle de produção, levando a melhores produtos finais e maior economia de tempo.

Apesar de ter muitas vantagens, o sistema estrutural misto ainda está distante de ser utilizado com frequência, pois ainda há muitas desvantagens, tornando esse sistema pouco atrativo do ponto de vista dos profissionais. Citando algumas desvantagens como, a falta de mão de obra especializada e o custo de aço elevado, alguns profissionais evitam usar, para evitar futuras dores de cabeça.

Para finalizar, a escolha do sistema estrutural depende de suas particularidades, muitos podem fugir do domínio do engenheiro de estruturas. Há também os aspectos que envolvem os projetos arquitetônicos, onde muitas vezes inviabiliza a implementação de alguns sistemas estruturais.

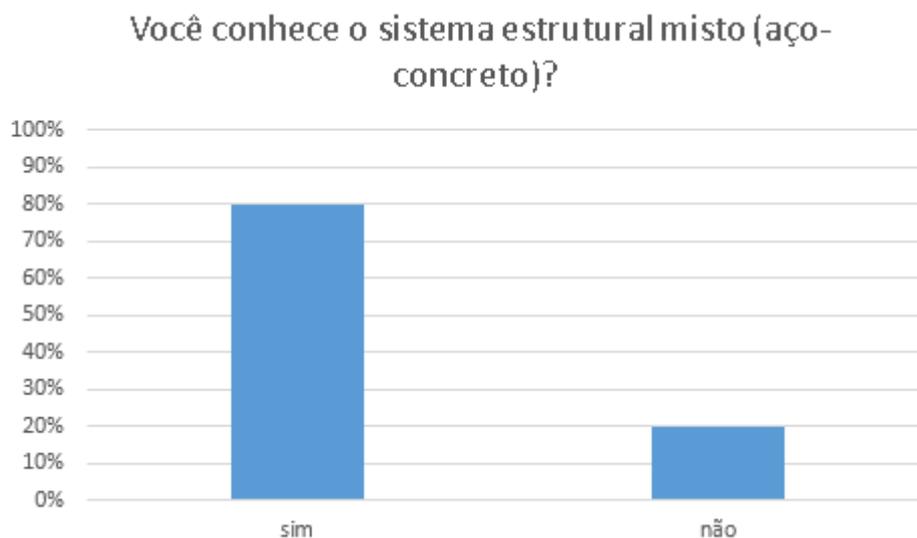
4.1 RESULTADO DA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

A seguir será apresentado em forma de gráficos o resultado de uma pesquisa realizada com engenheiros civis da cidade de Tubarão/SC.

Com o propósito de analisar o nível de conhecimento e a aceitação do sistema construtivo misto (aço-concreto), foi enviado 50 e-mails para os profissionais, porém obtendo apenas 15 respostas.

Analisando o gráfico a seguir, percebe-se que a grande maioria (80%) dos profissionais que conhece o sistema construtivo misto, mas 20% ainda não conhecem, por ser um sistema ainda pouco utilizado em relação ao sistema convencional, muitos profissionais acabam não se interessando pelo sistema misto.

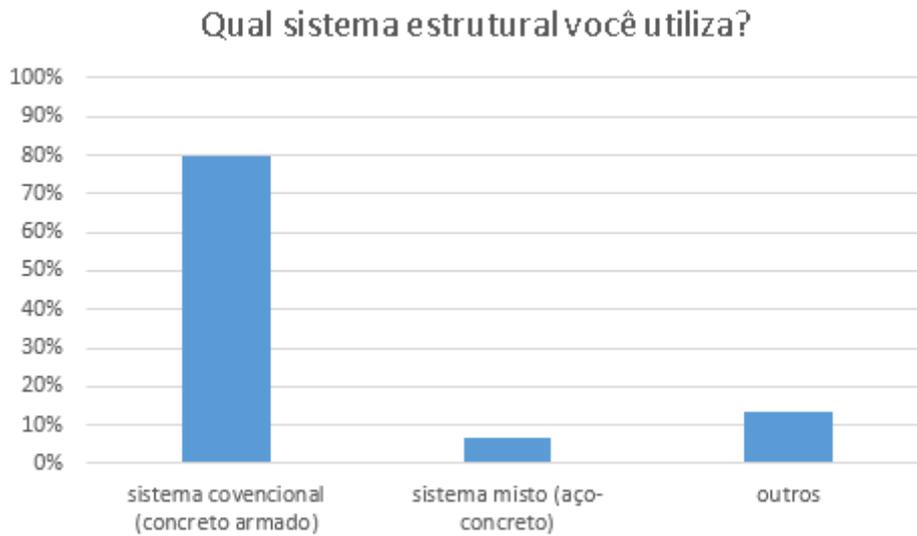
Figura 9 - Você conhece o sistema estrutural misto (aço-concreto)?



Fonte: Elaboração do autor, 2021.

Na sequência do questionário, foi perguntado aos engenheiros civis qual sistema estrutural eles utilizavam 80% utilizam o sistema convencional, pelo fato de ser um método construtivo antigo e a mão de obra fácil de encontrar, além disso, cerca de 6,7% dos profissionais optaram pelo sistema misto (aço-concreto), associando o sistema ao curto prazo de execução e a redução do peso da estrutura.

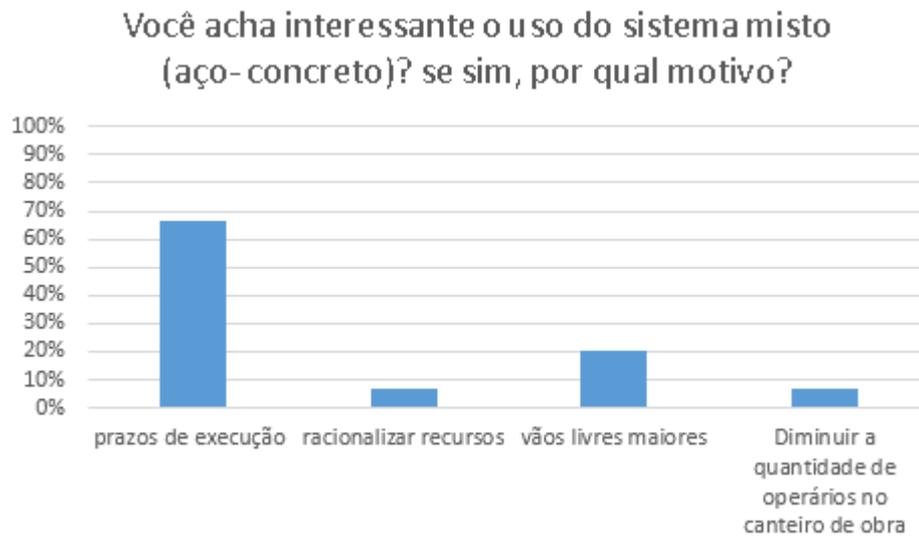
Figura 10 - Qual sistema estrutural você utiliza?



Fonte: Elaboração do autor, 2021.

Ao perguntar sobre pontos interessantes do sistema misto, a maioria (66,70%) assinalou o prazo de execução como ponto positivo, seguindo de vãos livres maiores (20%). Analisando a figura (11), percebe-se que a grande maioria dos profissionais optam pela liberdade de tempo da obra e projetos mais modernos e arrojados pelo fato de poder ter vãos livres sem limitação. Além disso, muitos engenheiros ainda optaram por assinalar outras alternativas, como racionalização de recursos e diminuição da quantidade de operários na obra (6,7%), sendo dois itens muito importante em uma obra, pois reduz quase 100% o desperdício e ainda reduz o custo com operários.

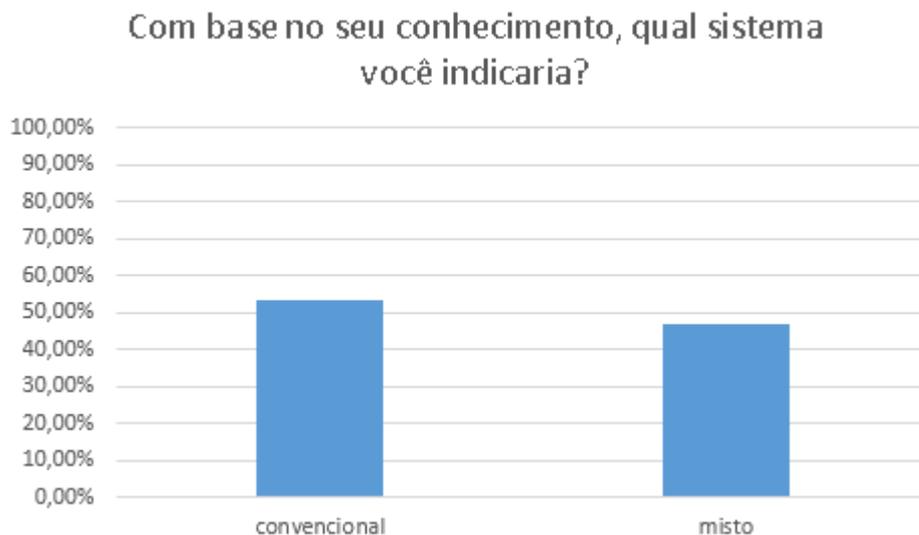
Figura 11 - Você acha interessante o uso do sistema misto (aço-concreto)? Se sim, por qual motivo?



Fonte: Elaboração do autor, 2021.

E para finalizar o questionário, foi perguntado para os engenheiros civis, qual o melhor sistema construtivo a ser utilizado no dia a dia, e 53,3% usariam o sistema convencional, enquanto 46,7% usariam o sistema misto. Mesmo a maioria não concordando em partes com o uso do sistema misto, ele ainda se faz interessante do ponto de vista dos engenheiros.

Figura 12 - Com base no seu conhecimento, qual sistema você indicaria?



Fonte: Elaboração do autor, 2021.

Pode-se concluir, com a aplicação do questionário, que os profissionais entendem que o uso de novos sistemas construtivos é interessante para a construção civil, porém ainda esbarra na utilização dos métodos construtivos mais antigos e custos elevados dos materiais.

5 CONCLUSÃO

Com o presente estudo, pode-se reforçar os conhecimentos sobre o sistema estrutural misto e suas particularidades construtivas. Bem como, conhecer e analisar as principais vantagens e desvantagens entre os sistemas estruturais misto e o convencional, de acordo com o referencial teórico.

A construção civil está a cada dia buscando evoluir e implantar novos sistemas construtivos, com isso surge a necessidade de se aprofundar cada vez mais em estudos para melhorar a utilização desses sistemas estruturais.

Conforme informado anteriormente, o objetivo geral desse trabalho foi analisar as principais vantagens e desvantagens das estruturas mistas, e comparar com as estruturas convencionais. Com isso, pode-se dizer que o objetivo foi alcançado, onde, de acordo com Castro (2008 *apud* SCHLICHTING, 2018), afirma que existem momentos onde há particularidades que são necessárias de acordo com a obra, o terreno ou até mesmo em sua parte econômica. Para isso se faz necessário conhecer as propriedades dos materiais para que o mesmo atinja os requisitos necessários, e assim seja possível escolher a opção mais viável.

Aplicando um questionário com os profissionais da cidade de Tubarão/SC, a fim de saber a preferência estrutural e também o conhecimento sobre as estruturas mistas, foi possível observar as opiniões e comparar com os autores do referencial teórico.

Para muitos, as principais vantagens são o prazo de execução menor e a possibilidade de vencer vãos livre maiores, mas também para outros, existe algumas desvantagens como custo elevado do aço e pouca mão de obra qualificada. Deste modo, pode-se dizer que a escolha do sistema estrutural, demanda muito estudo e planejamento, pois cada sistema possui suas particularidades.

Diante disso, e analisando as informações apresentadas, observa-se que o mercado está ligado às mudanças e se preparando para um futuro próximo estar aprimorando e talvez substituindo os sistemas convencionais por mistos, esse e tantos outros sistemas que sejam mais rápidos e mais sustentáveis para a construção civil.

Com essas afirmativas, conclui-se que o sistema estrutural misto se torna mais limpo, sustentável, com menor quantidade de resíduos na obra, reduz a quantidade de operários na obra e o principal, mais rápido que o sistema convencional. Esse sistema mostrou que é possível sim realizar uma obra mais rápida e limpa, porém ainda esbarra no custo elevado dos materiais.

Sugestões para pesquisas futuras:

- a) comparativo de viabilidade econômica detalhado;
- b) orçamento de uma obra total em estrutura mista.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, G. H. B. **Análise e considerações dos sistemas estruturais mistos aço-concreto**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, DF, 2014. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/6378/1/20958777.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2020.
- ALBUQUERQUE, A. T. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-23112017-143521/publico/Dissert_Albuquerque_AugustoT.pdf. Acesso em: 26 ago. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2006. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2020.
- CARINI, M. R. **Estruturas mistas de aço e concreto**: projeto de edifício comercial. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/110092/000952028.pdf?sequence=1>. Acesso em: 10 nov. 2020.
- CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. São Carlos: Edufscar, 2014. 415 p.
- CORREA, A. F.; DAUZACKER, L. A.V. J. **Estruturas mistas - aço concreto**: vantagens da utilização. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade Capixaba da Serra - Multivix Serra, Serra, 2015. Disponível em: <https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2018/06/estruturas-mistas-aco-concreto-vantagens-da-utilizacao.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2020.
- DIAS, L. A. M. **Estruturas de aço**: conceitos, técnicas e linguagem. 5. ed. São Paulo: Ziguarte, 2006. 218 p.
- FAKURY, H. R.; SILVA, C. R. L. A.; CALDAS, B. R. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson, 2016. 496 p.
- FIGUEIREDO, L. M. B. **Projeto e construção de pilares mistos aço-concreto**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-21122017-111731/publico/Dissert_Figueiredo_LucianaMB.pdf. Acesso em: 26 ago. 2020.
- FIRMINO, S. P.; ARAÚJO, T. F. **Investigação das propriedades de concretos produzidos por diferentes centrais dosadoras**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em

Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2018. Disponível em: <https://riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/5101/TCC%20Stelita%20e%20Taiane%20-%20APROVADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 nov. 2020.

FRANTZ, J. L. **Dimensionamento de pavilhão industrial com estrutura em aço**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/1126/1/Josiane%20Luiza%20Frantz.pdf>. Acesso em: 25 out. 2020.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

KAMMERS, M. **Estruturas mistas de aço e concreto**: comparação entre lajes maciças e *steel deck*. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017. Disponível em: https://riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/2350/Estruturas%20mistas%20de%20aço%20e%20concreto%20-%20compara%20aço%20entre%20lajes%20maciças%20e%20steel%20deck%20_Mariane%20Kammers.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 26 ago. 2020.

INNOVA. **Edifício One**. [São Paulo, 2021]. Disponível em: <https://www.innova.net.br/#prettyPhoto>. Acesso em: 3 nov. 2020.

MALITE, M. **Análise do comportamento das vigas mistas de aço-concreto constituídas por perfis de chapa dobrada**. Tese. (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1990.

MEDEIROS, F. G.; PACHECO, R. S. **Análise comparativa do custo benefício de execução das estruturas de casas geminadas entre concreto armado com alvenaria e estruturas metálicas com *drywal***. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2019. Disponível em: <https://riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/8810/Tcc%20felipe%20e%20Rodrigo%20para%20riuni%20dia%2010%202012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 26 ago. 2020.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: Nicole Pagan Hasparyk, 2014. 751 p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 912. p.

OLIVEIRA, D. R.A. **Desenvolvimento do projeto arquitetônico em estruturas de aço**. 2004. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004. Disponível em: <http://docplayer.com.br/14728953-Monografia-desenvolvimento-do-projeto-arquitetonico-em-estruturas-de-autor-dora-rodriques-alves-de-oliveira-orientador-prof.html>. Acesso em: 22 ago. 2020.

OLIVEIRA, E. A.; FENILLI, F. G. **Estudo de dosagem para determinação de traço de concreto**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2019. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/4648/1/TCC%20%C3%89der%20de%20dosagem%20para%20determina%20o%20do%20tra%20o%20de%20concreto.pdf>

20Alves%20de%20Oliveira%20e%20Felipe%20Gustavo%20Fenilli.pdf. Acesso em: 12 nov. 2020.

Or. **Edifício The One**. [São Paulo, 2021]. Disponível em: <https://www.or.com.br/comerciais/the-one/>. Acesso em: 16 de jun. de 2021.

PINHEIRO, B. F. C. A. **Estruturas metálicas**: cálculos, detalhes, exercícios e projetos. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. 316 p.

QUEIROZ, G.; PIMENTA, J. R.; MATA, C. A. L. **Elementos das estruturas mistas aço-concreto**. Belo Horizonte: O Lutador, 2001. 332 p.

SANTOS, T. J. D. **Edifícios de múltiplos andares em concreto, aço e em elementos mistos de aço e concreto**: análise comparativa. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

SCHLICHTING, W. L. **A relevância do uso de estruturas de aço em obras habitacionais populares**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2018. Disponível em: <https://www.riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/5998/TCC%20-%20Relev%3%a2ncia%20do%20uso%20de%20estruturas%20met%3%a1licas%20em%20obras%20habitacionais-converted.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 ago. 2020.

SILVA, L. F.; PIRES, N. R. M. C. **Análise comparativa entre estrutura em concreto armado x estrutura metálica em relação ao tempo de execução e custo para construção de escolas**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Tecnológico de Caratinga, Caratinga, 2016. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/599/1/modelo-tcc-doctum.pdf>. Acesso em: 30 out. 2020.

SOUZA E SILVA, T. de; OLIVEIRA, L. de. **O uso de estruturas mistas na cidade de Caratinga-MG**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdades Doctum, Minas Gerais, 2015. Disponível em: <http://dspace.doctum.edu.br:8080/bitstream/123456789/1054/1/Monografia%20Estruturas%20mistas.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2020.

TOLEDO, G. N. **Utilização de pilares mistos aço e concreto parcialmente revestidos em edifícios de múltiplos pavimentos**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009. 86 p.