

Rocha, R. C. A. ¹

Graduando, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

Nishi, E. ²

Professor Ma., Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

¹ eng.rcar@gmail.com; ² nishi@pucgoias.edu.br

RESUMO: o presente artigo teve como objetivo apresentar um estudo comparativo acerca dos custos e dificuldades técnicas de execução, entre estrutura convencional em concreto armado e estruturas mistas (concreto/aço), em regiões de difícil acesso, tendo como referência duas cidades de Goiás, a primeira seria Goiânia, com facilidades logísticas e econômicas, e a segunda seria a cidade de Campos Belos, que apresenta uma maior dificuldade de acesso. A relevância do presente estudo está na percepção das implementações de novos projetos, em localidades com recursos mais restritos, exigindo, assim, que se faça um melhor aproveitamento dos recursos existentes, sem prejuízo para a consecução de um bom projeto.

Palavras-chaves: Aço, Concreto, Concreto Armado, Novas Tecnologias.

ABSTRACT: The present article had as objective to present a comparative study about the costs and technical difficulties of execution between conventional structure in reinforced concrete and mixed structures (concrete/steel) in regions of difficult access. There were two cities as reference, both in the State of Goiás, the first one was Goiânia, with logistical and economic facilities, and the second one was the city of Campos Belos, which presents greater difficulty of access. The relevance of this study is in the perception of new project implementations in locations where the resources are more restricted and thus, it will require a better use of the existing resources, without prejudice to the achievement of a good project.

Keywords: Steel, Concrete, Reinforced Concrete, New Technologies.

Área de Concentração: Estruturas

1 INTRODUÇÃO

Estudar técnicas inovadoras, em processos de construção mais eficientes e racionais, tem sido objetivo de diversas pesquisas. Para tanto, algumas dessas análises comparativas demonstram que a utilização de aço-concreto, em modelo produtivo industrializado, apresenta-se como uma relevante opção, frente a uma indústria que, por tradição, lança mão de estruturas passadas, em concreto armado (BRAGA, 2011).

Esse diferencial denota maior evidência quando são avaliadas as condições logísticas e técnicas de algumas

regiões, frente a outras, não só pelo conservadorismo dos projetos, mas mesmo pela condição de produção e fornecimento de materiais, das respectivas opções construtivas.

Nesse contexto, este artigo teve como objetivo apresentar um estudo comparativo acerca dos custos e dificuldades técnicas de execução, entre estruturas convencionais, em concreto armado, e estruturas mistas (concreto/aço), em regiões de difícil acesso

Campos Belos é um município brasileiro localizado no interior do estado de Goiás, na Região Centro-Oeste do país. Em comparação, o outro referencial, que fica a

606 km de distância, foi a cidade de Goiânia, capital do estado de Goiás.

A relevância deste estudo está fundamentada na possibilidade de não só realizar um estudo prévio comparativo, relacionado aos custos dos serviços, assim como, também, de deixar de verificar outras condições mais favoráveis, dentro das respectivas regiões. Esse contexto pode ser observado, ao longo de todo território nacional, validando a ideia de se ampliar o campo de discussão sobre a oferta e o desenvolvimento de novas técnicas construtivas, em outras regiões de difícil acesso.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Define-se por estrutura mista todo sistema estrutural que utiliza de dois ou mais tipos de materiais em sua composição, sendo o mais tradicional, e abordado neste artigo, o sistema concreto-aço. O conceito básico da estrutura mista é o uso estratégico das características de cada material, compensando as limitações destes e otimizando o desempenho global. No sistema concreto-aço, a capacidade de resistência à compressão do concreto é complementada pela resistência à tração do aço, bem como à sua ductibilidade.

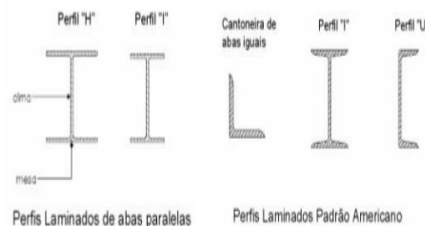
No Brasil, o conceito de estruturas metálicas não alcançou os mesmos níveis que em outros países no Brasil, como nos Estados Unidos, onde os primeiros edifícios edificadas com estruturas em aço começaram a ser construídos em 1870, em cidades como Chicago, Nova York, Detroit e St. Louis. Diferentemente das estruturas metálicas, o concreto armado conquistou o mercado brasileiro, por ser um processo mais artesanal e não exigir estruturas industriais complexas, como as necessárias para fabricação dos perfis metálicos. Por estar diretamente atrelado ao desenvolvimento das tecnologias construtivas em aço e em concreto armado, o conhecimento e uso de estruturas mistas, no Brasil, ainda é pequeno e, na última década, apresentou tímido crescimento, uma vez que os sistemas de aço ainda têm muito a se desenvolver em nosso território, apesar do recente crescimento (SÁ; SANTOS, 2014).

O aço é um material industrializado, produzido mediante rigoroso controle de qualidade, e, por este motivo, suas características são confiáveis, permitindo o uso de coeficientes de segurança menores, se comparados com os de outros materiais, inclusive os

dos sistemas de concreto armado. Menores fatores de segurança permitem o uso de perfis mais esbeltos, reduzindo gastos com materiais.

Tanto nas estruturas metálicas quanto nas mistas os perfis de aço podem ser laminados ou soldados. Perfis laminados são fabricados diretamente em linha de produção, trabalhados a quente, até a forma desejada. Os principais perfis laminados são os “I”, “H”, “C” e cantoneiras.

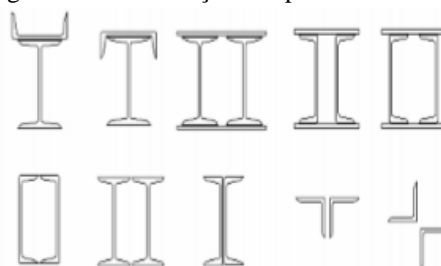
Figura 1 – Tipos de perfis laminados: Perfis H e I



Fonte: (DIAS, 2002)

É possível a composição de diferentes perfis afim de atender as necessidades do projeto como ilustra a figura abaixo:

Figura 2 – Combinações de perfis laminados



Fonte: (DIAS, 2002)

Por sua vez, os perfis soldados são montados a partir de diversos perfis diferentes, podendo ser executados, inteiramente, de forma industrial, ou por meios mais “artesaniais”. Uma vantagem dos perfis soldados é a grande variedade de perfis que se pode montar, diferentemente dos perfis laminados, que se restringem aos modelos-padrão da linha de produção, e suas composições.

Existem, também, os perfis dobrados a frio, estes são destinados a estruturas mais leves, como treliças e terças, uma vez que são utilizadas chapas mais finas, em seu processo de produção. Perfis laminados a frio são comuns em lajes em steel-frame.

O concreto armado possui diversas vantagens, como baixo custo e a facilidade de execução, associadas às vantagens encontradas no aço, como a resistência à tração e à compressão. Esse conjunto de características permite a construção de diversas formas e volumes, para as mais diversas construções, seja em cenários urbanos ou rurais, já que o concreto armado pode ser executado de forma artesanal, diferentemente das estruturas metálicas (EMRICH, 2017).

A estrutura mista concreto-aço busca reunir as vantagens de cada um dos sistemas isolados.

No contexto deste artigo, aborda-se, principalmente, as vigas mistas e lajes steel-frame. Essa composição é possível, por meio de conectores de cisalhamento ou de força de atrito entre eles, a ponto de garantir a transferência de esforços. O fundamento básico da utilização de estruturas mistas é a sua capacidade de imprimir esforços definidos em cada material da forma específica, e que, se aplicadas de maneira correta, representam uma estrutura eficiente. (CHAVES, 2009. p. 19-20).

O surgimento desse novo modelo construtivo está diretamente ligado ao desenvolvimento de tecnologias de vanguarda, por meio de pesquisas científicas, bem como ao desenvolvimento econômico global, e aos conceitos de utilização de recursos diferenciados, a fim de se oferecer um material competitivo (ALVA, 2005, p. 34). Seu início ocorreu após a II Guerra Mundial, quando países da Europa continental sofriam com a escassez de aço e passaram a considerar as contribuições estruturais das lajes de concreto, no cálculo das vigas de aço.

A aplicação de vigas mistas e lajes steel-frame garante à execução da obra uma redução na concretagem local e de armadura passiva, uma maior velocidade construtiva, com a eliminação ou redução de escoramentos, menor geração de resíduos e liberação do espaço do canteiro de obras. No Brasil, a aplicação desse sistema, mesmo em regiões mais desenvolvidas e de fácil acesso, ainda é restrita, devido à necessidade de mão de obra especializada e ao desconhecimento da técnica.

Outro benefício das estruturas mistas é a possibilidade da aplicação da gestão da cadeia de suprimentos na construção civil, conceito introduzido pelos estudos de LATHAM (1994) e EGAN (1998) que visava a

aumentar a eficiência das práticas industriais por meio da cooperação entre empresas (SÁ; SANTOS, 2014).

O estudo de Papadopoulos et al. (2016) descreve um conjunto de proposições com a finalidade de alcançar vantagens competitivas, por meio do gerenciamento da cadeia de suprimentos da construção, com uma abordagem promissora de integração entre os fornecedores, empreiteiros e clientes, com base na colaboração, no compartilhamento de informações e na confiança.

Ao que se refere às variantes logísticas, estas foram classificadas como dependentes de outros fatores não vinculados diretamente à construção civil, porém, compondo uma cadeia complexa que também influencia no valor final da obra. Entretanto, analisando-se essa correlação, ficou claro o papel integrador das variáveis logísticas com as variáveis de estratégia e de desempenho. O fato demonstrou a relevância efetiva das decisões estratégicas, necessárias para o melhor desempenho da construção civil, enquanto cadeia produtiva interdependente de diversos fatores (MAIA, 2019).

3 METODOLOGIA

Foi realizado um levantamento teórico acerca da temática, contendo as palavras-chave: concreto armado, concreto-aço e custos logísticos da construção civil.

No que se refere aos aspectos estruturais, o núcleo do estudo baseou-se no trabalho de Braga (2011) e foi relacionado aos estudos de Maia (2019), cujos achados estão ligados às considerações referentes a custos logísticos, na construção civil.

As informações foram alicerçadas em outros referenciais, no sentido de criar uma fundamentação que corroborasse com as afirmações das duas pesquisas, e que, basicamente, constituíram os resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fato de diversos sistemas terem sido desenvolvidos, enquanto mecanismos construtivos estruturais, levou ao surgimento de sistemas formados por elementos mistos aço-concreto, frutos da busca pelo aproveitamento das

vantagens que cada material representa, em quesitos estruturais e construtivos. Antes das estruturas mistas, as contribuições das lajes de concreto eram desconsideradas, no cálculo das vigas de aço, super dimensionando a estrutura, ao ponto que, quando se passou a considerar essa participação, as vigas tornaram-se mais esbeltas, economizando material e reduzindo-se o peso global da estrutura.

Uma vez percebidas as vantagens das estruturas mistas, novas formas de se realizar a conexão e integração dos diferentes materiais foram desenvolvidas, a fim de otimizar essa relação. Atualmente, a utilização de vigas e lajes mistas tem aumentado, em edifícios multipavimentos, em outros países, e, no Brasil, essa tendência também aumentou. Desse modo, é perceptível a concepção de melhor competitividade de sistemas mistos de estruturas, principalmente caracterizando-se a velocidade mais alta de execução da obra e, acima de tudo, a redução do peso total da estrutura. Desse modo, os sistemas estruturais elevam a possibilidade de racionalização das construções, evitando o desperdício (SÁ; SANTOS, 2014).

As estruturas mistas são um meio de se reduzirem os elevados custos dos sistemas de aço, custos estes que, até então, são os principais responsáveis pela baixa aplicação de estruturas metálicas, no Brasil. Estudos de Braga (2011) com referência a custo comparativo, entre estruturas de construção, apontam para um valor maior do pilar metálico, em comparação com o pilar misto conforme verificamos na tabela 1.

Tabela 1. Tabela comparativa - pilares

Tipo de pilar	Pilar misto	Pilar metálico
Custo do material (R\$/ml)	195,00	226,40
NRd (L=300cm)	2.821,40 kN	2.433,11 kN
NRd (L=600cm)	1.786,96 kN	1705,39

Fonte: (BRAGA, 2011).

Estudos indicando a viabilidade quanto ao fator custo-benefício, comparando os três métodos mais utilizados no mercado (concreto armado, estruturas metálicas e estruturas mistas) que levaram em consideração não apenas os custos diretos de produção, mas, também, a agilidade de execução, tornaram possível confirmar que a estrutura metálica proporcionaria maior agilidade. Porém, o sistema implica em maior preço e maior peso

final, quando utilizados perfis mais espessos. O concreto armado se coloca como o modelo de menor custo direto dos materiais e o de maior demora, na execução. Por consequência, as estruturas mistas buscam ser o processo que une os fatores positivos dos modelos disponíveis, permitindo uma melhor eficiência do resultado final e a conclusão do projeto em tempo menor, bem como o aumento da área útil, pois tal estrutura permite um espaço livre para execução de vários serviços, ao mesmo tempo, ao dispensar o uso de escoras, durante a cura do concreto, no caso das lajes em steel-frame, como exemplo.

O aço é o material estrutural utilizado na construção civil que possui maior índice de resistência – razão entre resistência e peso específico. Por esse motivo, os elementos estruturais de aço têm seção transversal mais esbelta, ou seja, com maior relação largura/espessura, em comparação com a de outros materiais. Quando aliado ao concreto, nas estruturas mistas, o perfil metálico adquire dimensões externas ainda menores. Nos pilares, há aumento do peso, em virtude das partes de concreto, enquanto que, nas vigas, pode ocorrer uma redução de até 30% do peso. Além da elevada resistência, o aço apresenta elevada ductilidade, com deformação, na ruptura, entre 15% e 40% (FAKURY, 2016).

Nesse comparativo, é possível afirmar que o custo mais elevado das vigas mistas, em comparação ao concreto armado, deve-se, principalmente, ao alto custo do fator mão-de-obra. Porém, o aumento produtivo da utilização das estruturas mistas, no Brasil, confere à modalidade uma tendência de redução de custo, o que viabilizaria sua utilização em maior escala do que vem sendo praticado, atualmente, em diversos segmentos (BRAGA, 2011).

As cidades goianas de Campos Belos e Goiânia possuem características completamente diferentes, que vão além dos mais de 600 km que distanciam uma da outra. Enquanto a primeira é a capital do estado e conta com, aproximadamente, 1.536.097 habitantes e apresenta uma concentração urbana elevada, mantida por atividades industriais e de serviços, a cidade de Campos Belos tem pouco mais de 18 mil habitantes, segundo dados do IBGE (2021), e pode-se considerar que o município de menor porte tem, em suas atividades predominantes, a agropecuária.

Goiânia, mesmo não possuindo um polo industrial tão grande quanto os maiores centros industriais do país, é uma das maiores cidades brasileiras, além de ser a capital do estado de Goiás. Está localizada no centro do país e faz parte das principais rotas comerciais. Na capital goiana, o uso de concreto armado é bastante disseminado, e tanto mão de obra quanto materiais são facilmente encontrados, para execução deste modelo estrutural. Estruturas em aço têm ganhado mais espaço e aos poucos vêm se popularizando, porém, a mão de obra especializada ainda é um fator que dificulta sua aplicação, sendo nem sempre fácil de ser encontrada, e com custos elevados, que muitas vezes inviabilizam o uso do aço para estruturar a obra.

Campos Belos é uma cidade de economia rural, com presença de duas indústrias, uma de médio porte e outra de grande porte, ambas no setor de mineração. Está localizada na divisa de Goiás e Tocantins, região remota e de baixa urbanização. Por não ser rota comercial estratégica, a cidade não oferece vários serviços e produtos, comuns em cidades maiores e de melhor acesso. Um produto essencial da construção civil que serviria de exemplo é o concreto usinado, logo, toda obra da região necessita produzir seu próprio concreto, em canteiro de obra, por meio de betoneira, ou manualmente, e, nos casos de obras de maior porte, como das indústrias citadas, foi necessária a construção de uma pequena usina de concreto, em seus respectivos canteiros de obras. Na imagem abaixo tem-se a Itafos, mineradora de grande porte, multinacional de origem canadense.

Figura 3 – Itafos Arraias



Fonte: <https://www.itafos.com/businesses/itafos-arraias/>.

No cenário de Campos Belos, a construção civil sempre enfrenta desafios logísticos, independente do sistema estrutural optado, seja aço, concreto ou misto. A cidade dispõe de limitada mão de obra e, muitas vezes até mesmo construções em concreto armado requerem a importação de mão de obra, de outras localidades. A baixa disponibilidade local de mão de obra e de materiais eleva muito o custo de estruturas em concreto

armado, na região, abrindo larga concorrência para os sistemas metálicos e mistos, que executam a obra com menor tempo e menos desperdícios.

A viabilidade econômica do concreto armado está atrelada principalmente ao baixo custo do material requisitado para sua execução. A tabela 2 e o gráfico 1 comparam os custos por quilo de dois dos principais materiais utilizados nos sistemas discutidos neste artigo. Estabelecendo uma relação entre os custos na cidade de Campos Belos, seja por aquisição no mercado local, ou comprando diretamente de Goiânia arcando com os gastos com frete.

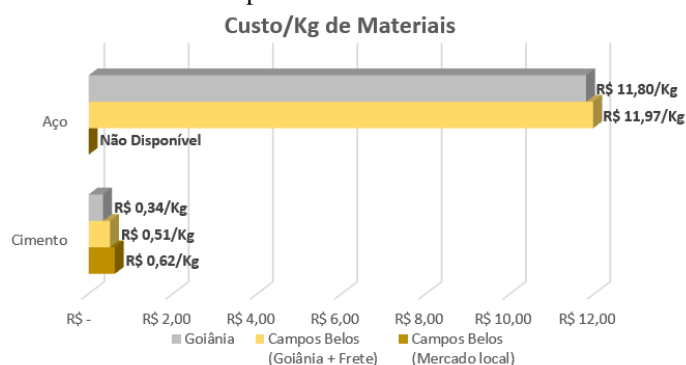
Tabela 2. Tabela comparativa de custos de materiais

	Goiânia (Valor de Referência)	Campos Belos	
		Comércio Local	Goiânia + Frete
Cimento	R\$0,340/Kg	R\$0,620/Kg	R\$0,507/Kg
Aço	R\$11,800/Kg	-	R\$11,967/Kg

*Valor de Frete Goiânia / Campos Belos à R\$5.000,00 com capacidade de Carga - 30.000Kg - R\$0,167/Kg

Fonte: Autor.

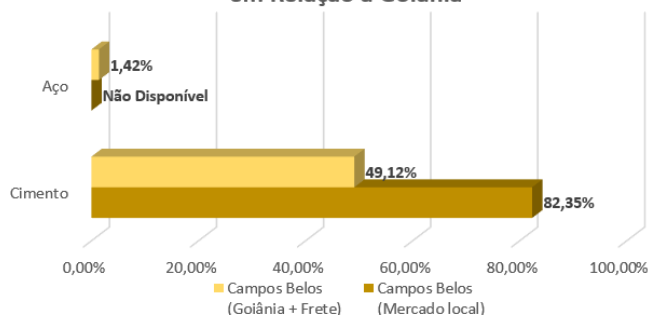
Gráfico 1. Comparativo de custos de materiais



Fonte: Autor.

Fica evidente a grande diferença de custos com materiais na cidade de Campos Belos, principalmente no caso do cimento, insumo base do concreto armado que possui baixo valor agregado. O aço, por sua vez, possui alto custo agregado, e, por este mesmo motivo, os valores de frete não geram impacto tão relevante no preço de seu quilo. O gráfico 2 expõe claramente esta situação ao comparar os percentuais de aumento no preço do quilo de cada material em relação aos valores praticados em Goiânia.

Gráfico 2. Aumento percentual dos custos de materiais
**Aumento de Custo de Materiais em Campos Belos
em Relação à Goiânia**



Fonte: Autor.

Enquanto os custos do cimento sobem de 49% a 82%, o aço não chega a subir 2%, viabilizando economicamente a aplicação de estruturas metálicas e mistas em regiões com contextos semelhantes aos de Campos Belos. Vale ressaltar que esse cenário se destaca ainda mais considerando que as estruturas metálicas possuem peso de 40 a 80Kg/m² em construções residenciais, enquanto no concreto armado esses números chegam a ser até 5 vezes maior, com cargas próprias de 250 a 350Kg/m².

5 CONCLUSÕES

Analisando-se as resultantes, pode-se afirmar que as estruturas mistas aço-concreto, representam uma solução competitiva, em matéria estrutural de projetos de edificações, sendo empregadas com grande frequência, em diversos países. No Brasil, tal modalidade é recente, tendo evoluído de forma ainda modesta. Em sistemas horizontais, em especial lajes e vigamentos, sua utilização representa certas vantagens, como a rapidez de conclusão de obras, por meio não só da execução da supraestrutura em si, mas ao liberar várias frentes de serviço, ao dispensar escoramento.

Em referência direta ao tema do estudo, é acurado afirmar que não se deve comparar apenas custos diretos de construção, lê-se mão de obra e materiais, é necessário levar em consideração diversos outros fatores, intrínsecos ou não à construção civil em si, tais como logística, tempo de execução, liberação de frentes de serviço, abertura de espaço no canteiro de obras, e possibilidade de se aplicar tecnologias administrativas. Os sistemas mistos de estrutura permitem a aplicação do Lean Construction, de forma muito mais abrangente

do que o concreto armado, desenvolvendo os conceitos de estoque zero, just in time, entre outros, dentro da construção civil.

Muito provavelmente, a utilização predominante do concreto armado, em regiões de acesso mais difícil, como áreas rurais, esteja relacionada à pouca oferta de tecnologias e fornecedores de alternativas já existentes no mercado.

Para regiões como da cidade de Campos Belos, onde não existem concreteiras ou grandes fornecedores de materiais, instalações industriais como as existentes de mineração (Gefoscal e Itafos), viabilizam o uso do sistema concreto-aço, visto que ocorre um grande aumento nos custos dos materiais, devido aos fatores logísticos e de usinagem do concreto, que tem que ser realizado in loco, no canteiro de obras.

Em reflexão, ainda, sobre o comparativo dos dois contextos urbanos, abordados neste artigo, os custos de mão de obra não se diferenciam muito entre os sistemas de concreto armado e misto, uma vez que, além de menor prazo de execução, estruturas em viga mista trabalham com um quadro de funcionários reduzido, eliminando ou diminuindo várias etapas do concreto armado, seja no menor uso de armaduras ou na montagem de formas e concretagem, compensando, assim, a diferença de custo na mão de obra mais especializada, requerida para a montagem das estruturas mistas.

Em centros urbanos como Goiânia, o elevado custo dos materiais e da mão de obra costumam inviabilizar o uso das estruturas metálicas e mistas. Já no contexto de

Campos Belos, o cenário muda bastante, uma vez que os custos do concreto armado são inflacionados. Enquanto o desafio das estruturas mistas na região é o acesso à tecnologia, projetistas e engenheiros que dominam o processo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVA, G.M.S; MALITE, M. Comportamento estrutural e dimensionamento de elementos misto aço e concreto- Caderno de Engenharia de Estruturas, São Carlos, 2005, p34.
- BRAGA, A. C. G. e F.; RAÇA W. Pilares mistos aço-concreto e comparativo de custo com pilares de aço e pilares de concreto armado. Rem: Revista Escola de Minas [online]. 2011, v. 64, n. 4 [Acessado 26 Maio 2021] pp. 407-414. Disponível em:

-
- <<https://doi.org/10.1590/S0370-44672011000500004>>.
Epub 20 Jan 2012. ISSN 1807-0353.
<https://doi.org/10.1590/S0370-44672011000500004>.
- CHAVES, I. A. Viga mista de aço e concreto constituída por perfil formado a frio preenchido. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) -Universidade de São Paulo, São Carlos,2009, p.19,20.
- DIAS, L. A. M. Estruturas de Aço. Conceito, Técnicas e Linguagem. São Paulo: Ed. Ziguarte, 2002.
- EMRICH, E. B. Materiais de construção Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017. 200 p.
- FAKURY, R. H. Dimensionamento básico de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto. Ricardo Hallal Fakury, Ana Lydia Reis de Castro e Silva, Rodrigo Barreto Caldas. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.
- MAIA, S. G. et al. Análise das relações das variáveis logísticas com a organização e estratégia das empresas de construção. Ambiente Construído [online]. 2019, v. 19, n. 4 [Acessado 27 Maio 2021] , pp. 135-153. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000400347>>.
Epub 03 Out 2019. ISSN 1678-8621.
<https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000400347>.
- PAPADOPOULOS, G. et al. Supply Chain Improvement in Construction Industry. Universal Journal of Management, v. 4, n. 10, p. 528-534, 2016.
- SÁ, A. G. P.; SANTOS, W. A. Estruturas mistas aço e concreto. 2014. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/1167/1/AC%C3%81CIA%20GIANE%20PEREIRA%20E%20S%C3%81%20ALTERADO.pdf>. Acesso em: 27/05/2021