



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA DA UFSM - EAD

UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL – UAB

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS

POLO VILA FLORES 2014

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CONSUMO ENERGÉTICO
AGREGADO PARA SISTEMAS CONSTRUTIVOS CIVIS EM AÇO E
CONCRETO ARMADO PARA UM EDIFÍCIO INDUSTRIAL DE
PEQUENO PORTE**

VICARI, Anderson¹

VALVERDE, Cesar Addis²

¹ Graduação Licenciatura Plena. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS
² Pós-Doutor em Energias de Produção na Vale Soluções em Energia. Professor Orientador.
Universidade de Santa Maria, Santa Maria, RS

RESUMO

A construção civil está diretamente ligada ao processo de desenvolvimento brasileiro, sendo um setor com grande relevância econômica representando largas frações do Produto Interno Bruto em nosso país e contribuindo participativamente com o desenvolvimento humano e social. Nos últimos anos, o setor da construção vem ganhando destaque especial com o aumento dos incentivos governamentais e de políticas públicas para o desenvolvimento social e de infraestrutura nacional. Por outro lado, a construção civil também é responsável por grandes emissões de CO₂, geração de resíduos e degradação do meio ambiente, empregando processos de intenso consumo energético na indústria de produção das matérias primas utilizadas, gerando debates frequentes sobre crescimento econômico e sustentabilidade. As obras de pequeno porte representam a maior parte dos projetos executados pela construção civil, sendo estes em sua maioria concebidos em concreto ou aço. Atualmente os investimentos em construção buscam um rápido retorno do investimento, exigindo agilidade nos prazos e custos competitivos, com isso a utilização de estruturas pré-moldadas em concreto armado e estruturas em aço atingem uma grande porção do mercado atual das edificações. Desta forma, os estudos realizados por esta pesquisa têm como objetivo principal identificar o consumo energético agregado para uma edificação industrial de pequeno porte, através da análise do consumo energético empregado na produção das principais matérias primas das edificações, o cimento portland e o aço. A análise busca apresentar o consumo energético utilizado na construção de uma edificação existente de pequeno porte em concreto armado pré-moldado, e através da reprodução do galpão original, estimar o consumo energético para execução desta edificação em estrutura metálica. Com bases nos dados coletados através da revisão bibliográfica, foi possível encontrar resultados aproximados dos consumos energéticos agregados ao cimento portland e ao aço, utilizados na estrutura principal da edificação, obtendo resultados e conclusões importantes.

Palavras chave: Eficiência energética. Edificações industriais. Aço. Concreto.

ABSTRACT

The construction industry is directly linked to Brazilian development process, being an industry with great economic importance representing large fractions of Gross Domestic Product in our country and contributing to participatory human and social development. In recent years, the construction sector has gained special prominence with increasing government incentives and public policies for social development and national infrastructure. On the other hand, the construction industry is also responsible for large CO₂ emissions, waste generation and environmental degradation, employing processes of intense energy consumption in the production of the raw materials industry, generating frequent debates about economic growth and sustainability. The works represent a small majority of the projects executed by construction, which are mostly designed for concrete or steel. Currently under construction investments seek a quick return on investment, requiring agility deadlines and competitive costs, thereby using precast structures in reinforced concrete and steel structures reach a large portion of the current market buildings. Thus, the studies conducted by this research has the main objective to identify the aggregate energy consumption for an industrial building small, by analyzing the energy consumption used in the production of the main raw materials of the buildings, the portland cement and steel. The analysis seeks to present the energy consumption used in the construction of an existing precast existing building small reinforced concrete, and by reproducing the original barn, estimate the energy consumption used to implement this in metal frame building. With bases on data collected through the literature review, it was possible to find approximate aggregates to portland cement and steel used in the main structure of the building energy consumption results, obtaining important results and conclusions.

Keywords: Energy efficiency. Industrial buildings. Steel. Concrete.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	4
1.1 Considerações iniciais	4
1.2 Objetivo geral	5
1.3 Objetivos específicos	5
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
2.1 Panorama da construção civil nacional.....	6
2.1.1 Contribuição econômica e geração de empregos diretos.....	7
2.1.2 Emissão de poluentes.....	8
2.2 Produção e consumo	10
2.2.1 Produção nacional de aço em 2013	10
2.2.2 Produção nacional de cimento portland em 2013	11
2.3 Consumo de energéticos utilizados pela indústria para produção e manufatura de matérias-primas utilizadas na construção civil	11
2.3.1 Valor energético agregado	13
2.3.2 Consumo energético agregado em ligas de aço	14
2.3.3 Consumo energético agregado em cimento portland	14
2.3.4 Considerações sobre o consumo de energéticos nos demais processos da edificação ...	14
3 METODOLOGIA	15
4 EDIFICAÇÃO INDUSTRIAL DE PEQUENO PORTE	16
4.1 Localização, dimensões e características.....	16
4.2 Projeto da edificação em concreto armado pré-moldado	19
4.2.1 Considerações sobre modelo executado em concreto pré-moldado	25
4.2.2 Consumo de cimento portland e aço para edificação em concreto pré-moldado	25
4.3 Projeto da edificação em estrutura metálica	26
4.3.1 Considerações sobre modelo projetado em estrutura metálica	32
4.3.2 Consumo de aço para edificação em estrutura metálica	33
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	34
5.1 Consumo energético agregado a edificação de pequeno porte pelos sistemas construtivos em aço e concreto pré-moldado	34
5.2 Emissões de CO ₂ referentes a edificação de pequeno porte pelos sistemas construtivos em aço e concreto pré-moldado	36
6 CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS	40
ANEXOS	42

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

O setor da construção civil no país constitui atualmente um dos pilares da economia brasileira, contribuindo fortemente com a geração e manutenção dos empregos, movimentando a indústria, representando uma fração importante no Produto Interno Bruto (PIB) entre outros benefícios, e está associada historicamente no Brasil como um setor importante para o desenvolvimento econômico e social.

Com o crescente aumento de incentivos governamentais e de políticas públicas para o desenvolvimento e infraestrutura nacional, a construção civil atinge crescimentos expressivos e proporcionalmente bastante superiores ao do PIB nos últimos anos. O Brasil atualmente como integrante da lista de países em desenvolvimento, segue as tendências do cenário internacional, com amplas possibilidades de manter sua expansão no setor. Com isso surge a necessidade de ampliar sua cadeia produtiva, devido ao aumento no consumo de matérias-primas para suprir esta demanda.

O crescimento acelerado no setor de construção civil e sua importância em termos econômicos abrem diversas questões relacionadas ao meio ambiente, uma vez que a construção é responsável pelo consumo do maior montante de cimento portland e de aço em nosso território. Atrelados ao cimento portland e ao aço estão grandes quantias de energéticos, agregados no decorrer do seu processo produtivo, gerando elevados volumes de resíduos poluentes e emissões de gases do efeito estufa, como o CO₂. Os temas sustentabilidade e eficiência aparecem frequentemente como objeto de debate no setor, com importante representatividade na economia e na geopolítica mundial, gerando a criação de novas normas e protocolos que buscam reduções no consumo de recursos naturais e a otimização dos impactos sobre o meio ambiente.

O foco em eficiência está diretamente ligado à escassez dos recursos disponíveis no planeta, somados aos processos e tecnologias disponíveis na atualidade. Existem setores específicos, onde a carência de recursos pode ser contornada com a substituição competente de processos e materiais. A construção civil é um exemplo disso, com a possibilidade de alterações de projetos sem a perda de propriedades básicas necessárias a edificação.

Figurando hoje a construção civil dentre os setores que mais consomem recursos em nosso planeta, esta se divide em diversas áreas de atuação e é constituída por diversos segmentos. Neste trabalho será abordada e analisada uma edificação industrial de pequeno

porte, verificando e quantificando o consumo agregado de energéticos para comparação entre sistemas construtivos concebidos em concreto armado pré-fabricado e estrutura em aço pré-fabricada. Edificações pré-moldadas são utilizadas com frequência cada vez maior por sua praticidade e agilidade. No Brasil atualmente o concreto pré-moldado é bastante difundido, dominando o mercado de pavilhões industriais de pequeno porte, porém a estrutura em aço surge como interessante alternativa.

Diante de tais desafios, este trabalho de pesquisa visa apresentar comparativamente o consumo de aço e cimento portland para a estrutura principal de uma planta industrial de pequeno porte, dimensionada segundo sistema construtivo de estrutura em aço em comparação ao sistema construtivo de estrutura em concreto armado. Este seguirá enfatizando o consumo energético utilizado pela indústria de produção, através de análises energéticas sobre dados consolidados de consumo final classificado por segmento e setor industrial, a partir do Balanço Energético Nacional (relatório fundamental para atividades de planejamento e acompanhamento do setor energético), buscando a apresentação e maximização da eficiência energética através dos resultados obtidos pelos sistemas construtivos durante o processo industrial. Ainda, será abordada uma pesquisa baseada em revisão bibliográfica como fonte de orientação e conhecimento, com ênfase em órgãos governamentais e reguladores, além de artigos e relatórios disponibilizados pelos setores.

1.2 Objetivo Geral

Apresentar o consumo agregado de energéticos para as principais formas de estruturas da construção civil, aço e concreto pré-moldado, comparando quantitativa e proporcionalmente seu consumo para a estrutura principal de uma edificação industrial de pequeno porte.

1.3 Objetivos Específicos

- Apresentar a importância do setor da construção civil para economia nacional.
- Determinar o consumo energético utilizado pela indústria na produção de matérias-primas para estruturas civis em aço e concreto armado.

- Demonstrar em tonelada equivalente de petróleo o consumo total agregado de energéticos ao aço civil e ao cimento portland.
- Comparar quantitativamente e proporcionalmente recursos energéticos consumidos para execução da estrutura principal de uma edificação industrial de pequeno porte em concreto armado pré-moldado existente, e o consumo do mesmo a partir do redimensionamento em estrutura de aço, demonstrando o consumo de energia agregada a cada sistema.
- Identificar e destacar a forma construtiva com melhor desempenho energético, a partir de dados obtidos junto a relatórios energéticos e estudos desenvolvidos por instituições relacionadas à construção civil, destacando de maneira clara e sucinta os resultados obtidos.
- Sugerir propostas e apontar soluções para redução dos consumos de energia agregada nos processos de produção e para sistemas utilizados na construção civil.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Apresentam-se neste capítulo subsídios teóricos disponíveis na literatura, em anuários e em relatórios, essenciais para fundamentação e realização deste trabalho. Aborda-se, de modo geral, o panorama da construção civil nacional, os processos de produção das principais matérias-primas, os efeitos sobre o meio ambiente, relação entre o consumo e a produção, além de um resumo sobre os dados consolidados sobre a energia consumida nos centros de transformação e/ou nos processos de extração, e transporte interno de produtos pela indústria Brasileira.

2.1 Panorama da construção civil nacional

O setor da construção civil no Brasil se desenvolveu muito nos últimos anos, participando atualmente de forma direta nos indicadores econômicos e sociais do país. “O setor nas últimas décadas passou por significativas mudanças em sua performance, velocidade

e qualidade, desencadeadas por normas, programas governamentais e também instituídas pelo próprio setor da construção" (ABCP, 2014, pag. 9).

A construção civil convive com inúmeros desafios para manter seu desenvolvimento e crescimento, devido principalmente a baixa competitividade da economia Brasileira, a competição internacional e a fatores ambientais.

Estudos e análises apresentam contribuições significativas sobre os efeitos e as características da cadeia da construção civil nacional sobre a produção, a geração de renda, empregos e tributos, bem como seu forte encadeamento setorial. Tais efeitos favoráveis são relatados por Luciane Pires Teixeira, em seu artigo "A construção civil como instrumento de desenvolvimento da economia brasileira":

A indústria da construção é uma atividade econômica que complementa a base produtiva e exerce forte impacto na sustentação do desenvolvimento econômico-social. A infraestrutura básica é um bem intermediário em quase todo o sistema produtivo, sendo parte integrante do capital fixo social e um complemento importante ao capital privado. Através de externalidades, o produto da construção civil aumenta a produtividade dos fatores de produção e cria um entorno favorável e eficiente à produção, estimulando os investimentos privados e permitindo vantagens comparativas importantes ao parque produtivo nacional, o que justifica o apoio à indústria da construção civil como prioridade, uma vez que alcança, de forma não discriminatória, todos os setores da economia. (TEIXEIRA, 2005, p. 23)

Investimentos públicos/privados em construção civil e infraestrutura são os princípios fundamentais para o desenvolvimento econômico brasileiro. "O investimento em construção civil promove o crescimento econômico porque aumenta o retorno dos insumos privados (capital e trabalho) e incentiva o crescimento e o emprego". (TEIXEIRA apud RIGOLON, 2005, p. 11)

2.1.1 Contribuição econômica e geração de empregos diretos

A construção civil brasileira contribui muito significativamente com a economia brasileira, representando índices importantes para formação o PIB nacional.

A participação do número de empregos diretos no setor da construção civil apresenta uma tendência de crescimento, conforme informações coletadas no Portal Brasil (Mar.2014), alcançando no mês de fevereiro de 2014 o total de 3,521 milhões de empregos formais.

Conforme dados dispostos em relatório divulgado pelo Sindicato Nacional da Indústria de Cimento, a participação do setor da construção civil na economia no ano de 2011 correspondeu a 5,8% do total do PIB. O relatório também apresenta um crescimento no consumo de cimento portland no país acima do crescimento econômico. A produção atual de cimento portland do Brasil atende diretamente as necessidades do mercado interno, sem exportações significativas.

Segundo dados da Confederação Nacional da Indústria, através do relatório *A indústria do aço no Brasil*, desenvolvido pelo Instituto Aço Brasil, “a indústria brasileira do aço ocupa posição estratégica na estrutura produtiva do país, de acordo com estudo desenvolvido pela Fundação Getúlio Vargas em 2011 sobre a importância estratégica do aço na economia brasileira” (CNI, 2012, p. 17). No ano de 2011 o valor da produção da indústria no “segmento de aço corresponde a 4,8% do total da economia, gerando um impacto no PIB nacional de 4,0%, (considerando efeitos diretos, indiretos e induzidos)” (CNI, 2012, p. 17). Ainda segundo o relatório, neste mesmo ano as exportações de aço representaram 3,3% do valor total exportado no Brasil, e se atribuiu à siderurgia aproximadamente 3 milhões de empregos, distribuídos entre os setores produtivos e pela indústria de transformação, computando empregos diretos e indiretos.

2.1.2 Emissão de poluentes

Os processos industriais para produção dos insumos utilizados pela construção civil, de maneira geral, produzem elevados volumes de resíduos poluentes e a emissão de diversos gases responsáveis pelo efeito estufa em nosso planeta, como é o caso do dióxido de carbono (CO₂), cujas emissões provêm principalmente da utilização intensiva de combustíveis fósseis.

No ano de 2010, a indústria nacional em geral liberou um total de 74.737 Gg CO₂ para a atmosfera. Deste total, a indústria de produção do cimento somada a indústria de produção de ferro-gusa e aço representaram 80% deste montante. Tais valores estão presentes no inventário, *Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil*, desenvolvido pela Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento (SEPED). Estas emissões são referentes aos processos industriais e correspondem as “emissões resultantes dos processos produtivos nas indústrias e que são resultado da queima de combustíveis” (SEPED, 2013, p.10).

Tabela 1 – Emissão de CO₂ pelo setor industrial.

Emissão de gases no ano de 2010	
Setor industrial	em Gg CO ₂
Produção de Cimento	22.055
produção de ferro-gusa e aço	37.797
Processos Industriais	74.737

obs.: Gg = milhares de toneladas

Fonte: Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento – SEPED, 2013.

Ambas as plantas, sejam elas para produção de cimento portland ou produção de aço, consomem substancial somas de energia em sua cadeia produtiva. A principal rota de produção do aço nas siderúrgicas e através da redução em alto forno pela *rota integrada*, “a necessidade de uso do carvão mineral no processo restringe as possibilidades de mitigação desse impacto nas empresas que utilizam essa rota tecnológica. Nesses casos, o esforço para redução das emissões de CO₂ está focado na busca de maior eficiência energética” (CNI, 2012, pag. 23). Existe também o processo de produção a partir da *rota semi-integrada*, pouco utilizada atualmente no país, “como usam sucata, não possuem a etapa de redução e, portanto, têm emissões reduzidas de CO₂” (CNI, 2012, pag. 23).

Para OLIVEIRA, 2014, as plantas siderúrgicas produzem emissões de gases, resíduos e material particulado ao longo de todo seu processo de execução. Um grande volume de resíduos e co-produtos é produzido neste processo,

[...] o que representa uma geração específica acima de 600kg desses materiais por tonelada de aço bruto produzido. Os agregados siderúrgicos representam aproximadamente 60% do total de co-produtos gerados no processo, e são comercializados predominantemente para a produção de cimento. Outra aplicação relevante dos agregados é o seu uso como base de estradas. (CNI, 2012, pag. 26).

A produção do “cimento constitui também uma questão de máxima relevância, uma vez que a emissão de CO₂ é intrínseca ao seu processo produtivo, seja com a transformação química da matéria-prima em cimento, seja com a queima de combustíveis utilizados para possibilitar essa transformação” (SNIC, 2013, pag.10). O transporte da produção também gera um grande consumo de energéticos, pois ele ocorre majoritariamente através de rodovias. Esta

forma de transporte representou em 2012 aproximadamente 96% do total produzido e transportado do produto no Brasil.

2.2 Produção e consumo

Com base nos dados apresentados pelo Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) e pelo Instituto Aço Brasil (IAB) em inventários disponíveis em seus respectivos portais eletrônicos, são apresentados dados relativos a produção e ao consumo de cimento portland e aço no ano de 2013.

O Brasil se posiciona entre os maiores consumidores mundiais de cimento portland e aço do planeta. Estes insumos são produzidos no país para atender (quase que em sua totalidade) ao mercado interno, suprimindo a demanda industrial e de construção civil.

2.2.1 Produção nacional de aço em 2013

O país produziu em seu território no ano de 2013 um total de 34,2 milhões de toneladas (t) de aço bruto através de 29 plantas produtoras distribuídas em todas as regiões, com um consumo aparente pelo mercado interno de 26,4 milhões de t, representando um consumo per capita de aço de 131 quilogramas por habitante. O Brasil possui ainda um poder de crescimento muito grande neste setor através de uma capacidade instalada de 48,4 milhões de t/ano de aço bruto.

Neste mesmo ano, foram exportadas 4,4 milhões de t diretas de aço, ferro-gusa, minério de ferro e outros subprodutos, para um total de mais de 100 países.

Tabela 2 – Números da indústria do aço no Brasil em 2013.

Indústria do Aço no Brasil em 2013	
Produção de Aço Bruto	34,2 milhões de t
Consumo Aparente	26,4 milhões de t
Consumo Per capita de aço	131 kg/hab
Capacidade Instalada	48,4 milhões de t

Fonte: Instituto Aço Brasil – IAB, 2014.

2.2.2 Produção nacional de cimento portland em 2013

O Brasil conta atualmente com 85 usinas produtoras de cimento, distribuídas na maioria dos seus estados, que produziram um total de 70,22 milhões de t de cimento portland no ano de 2013. Neste mesmo ano o Brasil consumiu um total aparente, pelo mercado interno, de 70,98 milhões de t, necessitando recorrer à importação de uma pequena quantia no mercado internacional. O consumo per capita de cimento ficou em 353 quilos de cimento/habitantes (dado relativo ao ano de 2012).

Tabela 3 – Números da indústria do cimento no Brasil em 2013.

Indústria do Cimento no Brasil em 2013	
Produção de Cimento	70,22 milhões de t
Consumo Aparente	70,98 milhões de t
Consumo Per capita de Cimento	353 kg/hab (em 2012)
Capacidade Instalada	-

Fonte: Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – SNIC, 2013.

2.3 Consumo de energéticos utilizados pela indústria para produção e manufatura de matérias-primas utilizadas na construção civil

Segundo dados analisados e extraídos do relatório de Balanço Energético Nacional de 2014 (BEM 2014), desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), órgão este responsável pelas diretrizes e políticas energéticas nacionais, serão apresentados dados energéticos para futura comparação, dispostos na forma de gráficos para uma leitura dinâmica e intuitiva dos dados em percentuais e na unidade de medida tep (Tonelada Equivalente de Petróleo). Esta unidade de mensuração representa a “comparação do poder calorífico de diferentes formas de energia com o petróleo. Uma tep corresponde à energia que se pode obter a partir de uma tonelada de petróleo padrão”. (ANEEL, 2008, p. 143). O consumo total de energia no Brasil em 2013 representou um somatório de energéticos equivalente a 260.249×10^3 tep. Deste montante, a indústria em geral consumiu 33,9% deste total, o que representou 88.895×10^3 tep do total consumido no Brasil no ano de 2013.

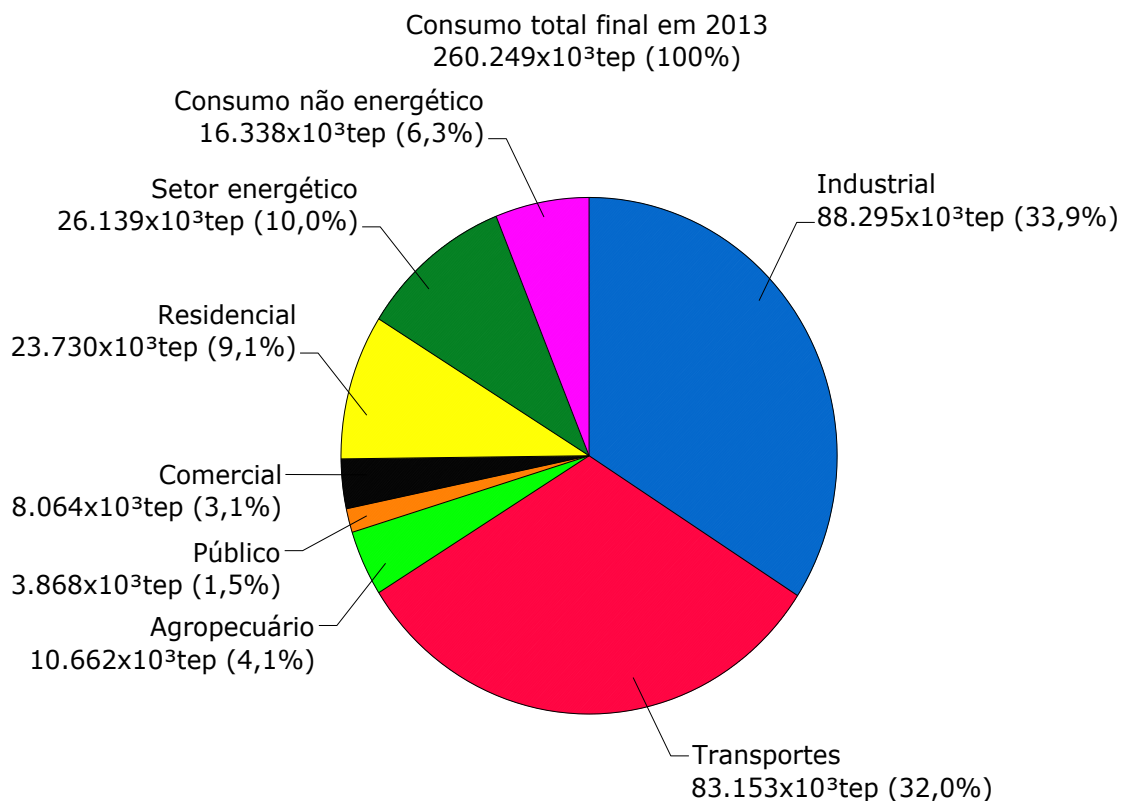


Figura 1 – Gráfico do consumo total de energéticos por setor econômico no ano de 2013.

Fonte: Balanço Energético Nacional - EPE, 2014.

Conforme o gráfico apresentado acima, se verifica que o país consome aproximadamente 1/3 de toda sua matriz energética para uso no setor industrial e que este corresponde ainda ao maior consumo energético por setor dentro deste panorama.

Desta ampla fração de energia consumida pela indústria nacional em geral, podemos dividir este total em subsectores industriais, identificando o consumo energético por setor específico.

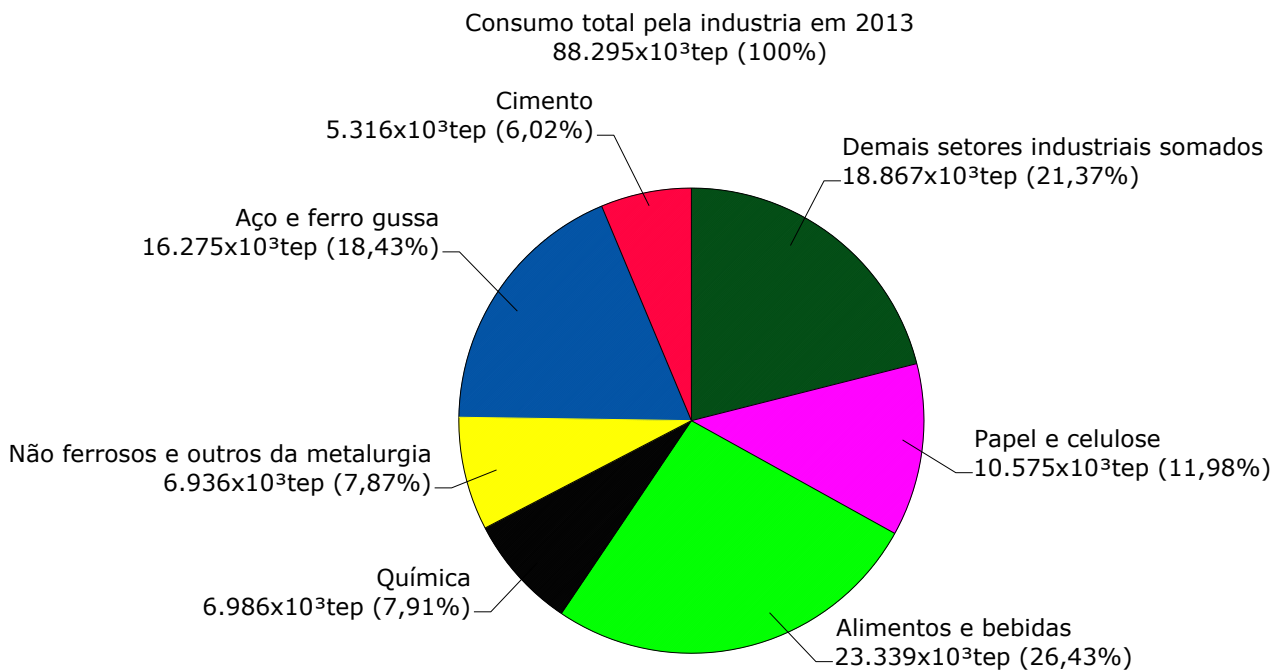


Figura 2 – Gráfico do consumo total de energéticos pelos setores industriais individuais no ano de 2013.

Fonte: Balanço Energético Nacional - EPE, 2014.

O gráfico acima evidencia o consumo energético por setores industriais, onde o cimento e o ferro-gusa e aço, compõem parte bastante significativa da energia consumida.

Os detalhes dos energéticos apresentados neste capítulo buscam demonstrar o valor agregado de energias primárias e secundárias consumidas nos setores socioeconômicos do país. O quantitativo energético correspondente ao *Consumo Final por Setor Energético* trás o total de “energia consumida nos Centros de Transformação e/ou nos processos de extração e transporte interno de Produtos Energéticos, na sua forma final” (EPE, 2014, p. 202).

2.3.1 Valor energético agregado

Conforme análise do consumo de energia através do Balanço Energético Nacional sobre os setores industriais na produção de Cimento e Ferro-gusa e aço, e relacionando estes recursos ao total da produção referente ao período de 2013, divulgados pelas organizações responsáveis pelo controle e regulação do cimento e do aço, obtêm-se os resultados a seguir.

2.3.2 Consumo energético agregado em ligas de aço

Com produção total de 34,2 milhões de t de aço bruto pelas siderúrgicas nacionais e um consumo energético neste setor de 16.275×10^3 tep, no ano de 2013, no Brasil o valor energético agregado por tonelada de aço é 0,476 tep/t.

Tabela 4 – Consumo energético agregado por t de aço, em 2013.

Produção de Ferro-gusa e aço e o Consumo Energético pelo Setor no ano de 2013			
Setor industrial	Produção	Consumo Energético	Consumo Energético Agregado por Tonelada
Indústria do Ferro-gusa e Aço	34,20 milhões de t	16.275×10^3 tep	0,476 tep/t

Fonte: Instituto Aço Brasil – IAB, 2014.

2.3.3 Consumo energético agregado em cimento portland

Com produção total de 70,22 milhões de t cimento portland pelas usinas nacionais e um consumo energético neste setor de 5.316×10^3 tep, no ano de 2013, no Brasil o valor energético agregado por tonelada de cimento portland é 0,076 tep/t.

Tabela 5 – Consumo energético agregado por t de cimento, em 2013.

Produção de Cimento e Consumo Energético pelo Setor no ano de 2013			
Setor industrial	Produção	Consumo Energético	Consumo Energético Agregado por Tonelada
Indústria do Cimento	70,22 milhões de t	5.316×10^3 tep	0,076 tep/t

Fonte: Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – SNIC, 2013.

2.3.4 Considerações sobre o consumo de energéticos nos demais processos da edificação

Os resultados energéticos que compõem o total analisado são baseados em informações coletadas junto a órgãos competentes, em seus referentes setores específicos, através da confrontação dos dados coletados. De forma geral, os dados não apresentam

verificações específicas sobre materiais utilizados ou plantas geradoras de insumos. Consumos agregados aos processos utilizados na produção das estruturas também não serão abordados, como fabricação de estruturas pré-moldadas, transporte de materiais, montagem de estruturas e perdas nos processos.

3 METODOLOGIA

O estudo proposto se baseia na verificação dos consumos energéticos agregados as principais matérias primas da construção civil (aço e cimento), verificados sobre os sistemas de construção em concreto pré-moldado e estrutura de aço. Serão analisadas somente as estruturas principais da edificação, como: pilares, vigas, terças, travamentos e amarrações. Segmentos secundários, como: paredes, pisos, aberturas, acabamentos, entre outros, não são alvos desta pesquisa devido ao amplo segmento de modelos, fornecedores e qualidades existentes no mercado.

Um breve relato a respeito do panorama nacional da construção civil tem por objetivo apresentar a importância do setor na economia brasileira e sua participação nos danos causados ao meio ambiente. Assim, demonstrando a importância de estudos específicos nesta área, que tem um papel estratégico no crescimento e desenvolvimento do país.

Os estudos se iniciam com a coleta de informações referentes ao consumo energético pelo segmento industrial, verificando o consumo energético nos setores responsáveis pela produção de aço e cimento no Brasil. Dados relativos ao consumo de energia foram adquiridos no Balanço Energético Nacional, desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Energética. Este relatório é responsável por apresentar de forma consolidada a oferta e o consumo de energéticos no país, fundamental para atividades de planejamento e acompanhamento do setor energético.

Instituições e entidades reguladoras ligadas diretamente à indústria de produção do aço e cimento portland, foram responsáveis pelas informações sobre a produção e o consumo de aço e cimento no ano de 2013.

De posse dos dados necessários, estes são relacionados entre si através de fundamentos matemáticos básicos, gerando fatores e coeficientes necessários para quantificação do consumo energético.

As informações sobre o projeto da edificação analisada neste trabalho de pesquisa,

localizada na cidade de Nova Bassano, foram cedidas pelo proprietário do estabelecimento e pela empresa responsável pelo desenvolvimento e execução da estrutura existente. Os cálculos e dados referentes aos quantitativos da estrutura em concreto armado pré-moldado foram reproduzidos sobre os parâmetros dos projetos originais, devido à restrição estabelecida pela empresa responsável pelo concreto pré-moldado, que não autorizou a divulgação dos projetos e memória de cálculo da estrutura original, por questões de sigilo empresarial.

Para definições e verificações do dimensionamento necessário para o reprojeto da edificação em estrutura metálica, foi consultada uma empresa do setor de cálculos estruturais da cidade de Nova Bassano, com grande experiência na área de construção metálica que fornece cálculos e auditorias para grandes empresas no ramo da produção de estruturas metálicas. Devido a agilidade, os cálculos do dimensionamento metálico foram obtidos através do software mCalc 3D.

Ambos os modelos estruturais tem o intuito de corresponder às soluções encontradas para as necessidades reais verificadas para este projeto específico. Assim, o projeto visa primeiramente à busca de uma solução eficiente do ponto de vista econômico no mercado de concorrências, podendo sofrer influências decorrentes de custos e prazos.

Os resultados obtidos no estudo buscam proporcionar subsídios iniciais para avaliação do consumo energético utilizado pela indústria produtiva de aço e cimento, e a magnitude dos valores energéticos agregados à construção civil para sistemas construtivos em aço e concreto armado.

4 EDIFICAÇÃO INDUSTRIAL DE PEQUENO PORTE

4.1 Localização, dimensões e características

A análise se desenvolve sobre um galpão industrial de pequeno porte executado no ano de 2013, na cidade de Nova Bassano. O projeto em concreto pré-moldado original tem por objetivo abrigar um comércio, totalizando uma área de 540m².



Figura 3 – Localização do terreno.

Fonte: Imagem Google Earth.

As dimensões e características da edificação são as seguintes:

- Cobertura em duas águas com declividade da cobertura $11,31^\circ$ (Inclinação 20%);
- Pilares em perfis de seção retangular;
- Vigas de cobertura em perfil T;
- Pé direito nível inferior: 3,5 metros;
- Pé direito mezanino: 4 metros;
- Altura total (até a cumeeira): 10670 mm;
- Largura da construção: 20400 mm;
- Comprimento: 27000 mm;
- Espaçamento entre pórticos: 5350 mm.

Devido a questões comerciais, a empresa responsável pela estrutura pré-moldada forneceu apenas dados referentes ao cálculo. Não liberando para reprodução projetos finais de fabricação das estruturas.

A partir dos dados coletados, o pavilhão passou por uma reprodução de seu projeto original, mantendo dimensões e seções originais.

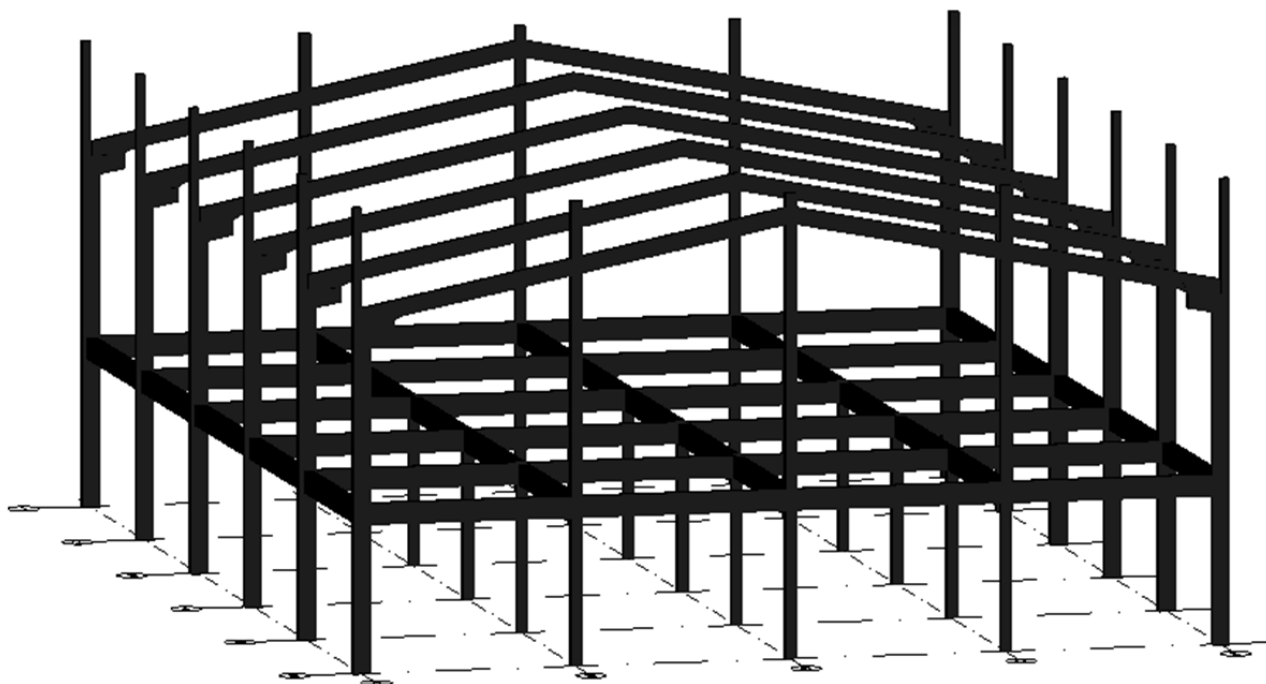


Figura 4 - Perspectiva da estrutura em concreto pré-moldado.

A edificação possui cobertura executada em duas águas, composta por vigas e pilares de concreto pré-moldados, utiliza viga de cobertura em seção T e os pilares possuem seção retangular. As telhas de cobertura são em aço galvanizado, onduladas, esp. 0,65mm.

As paredes laterais externas, no nível inferior, foram executadas em alvenaria com venezianas de 1 metro de altura e 2 metros de peitoril. Em um vão lateral, há um portão basculante, que dá acesso ao depósito. As paredes de oitão foram executadas em alvenaria em sua totalidade. No nível superior, as paredes laterais externas foram executadas com alvenaria e têm venezianas de 1 metro e 2,5 metros de peitoril. No oitão dos fundos, foi executada alvenaria sem aberturas. No oitão frontal foi executada alvenaria com porta central de 3x2,5 metros.

Para os pisos do pavilhão foram empregados: no pavimento inferior piso polido (utilizado como depósito). No pavimento superior piso cerâmico (utilizado para atendimento ao público).

4.2 Projeto da edificação em concreto armado pré-moldado

Segue abaixo, projetos referentes à edificação em concreto armado pré-moldado a ser analisada. Tais projetos foram desenvolvidos a partir dos layouts fornecidos pela empresa responsável pela execução do projeto.

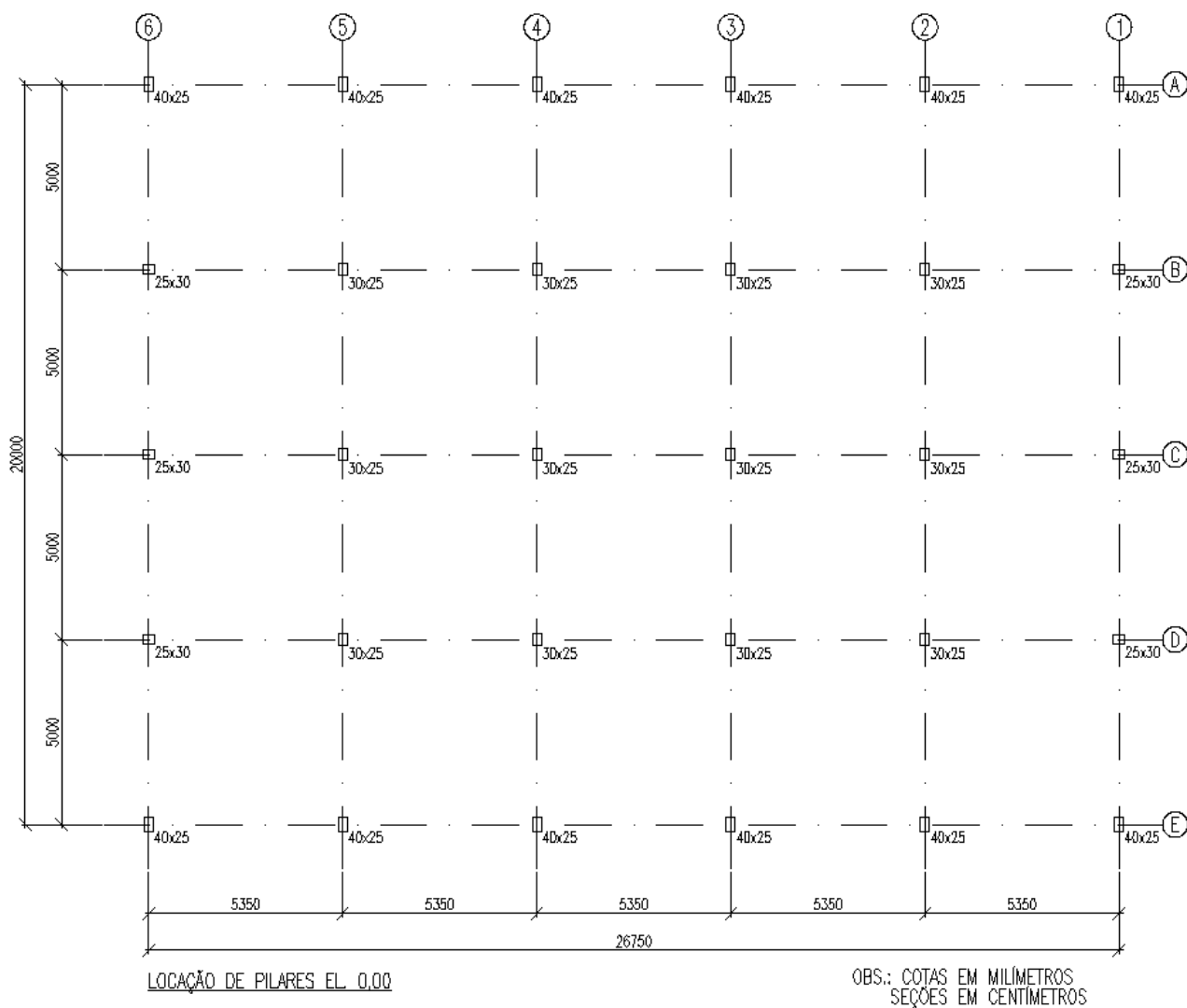


Figura 5 – Planta baixa de localização dos pilares em concreto pré-moldado.

A planta de locação de pilares, conforme figura 3, apresenta a distribuição dos pilares principais e de apoio do mezanino. Os pilares principais do pórtico possuem seção de 40x25cm e altura total da edificação, os pilares de oitão possuem altura total e seção de 30x25cm, e para apoio do mezanino os pilares possuem seção de 30x25cm e são interrompidos no nível do mezanino.

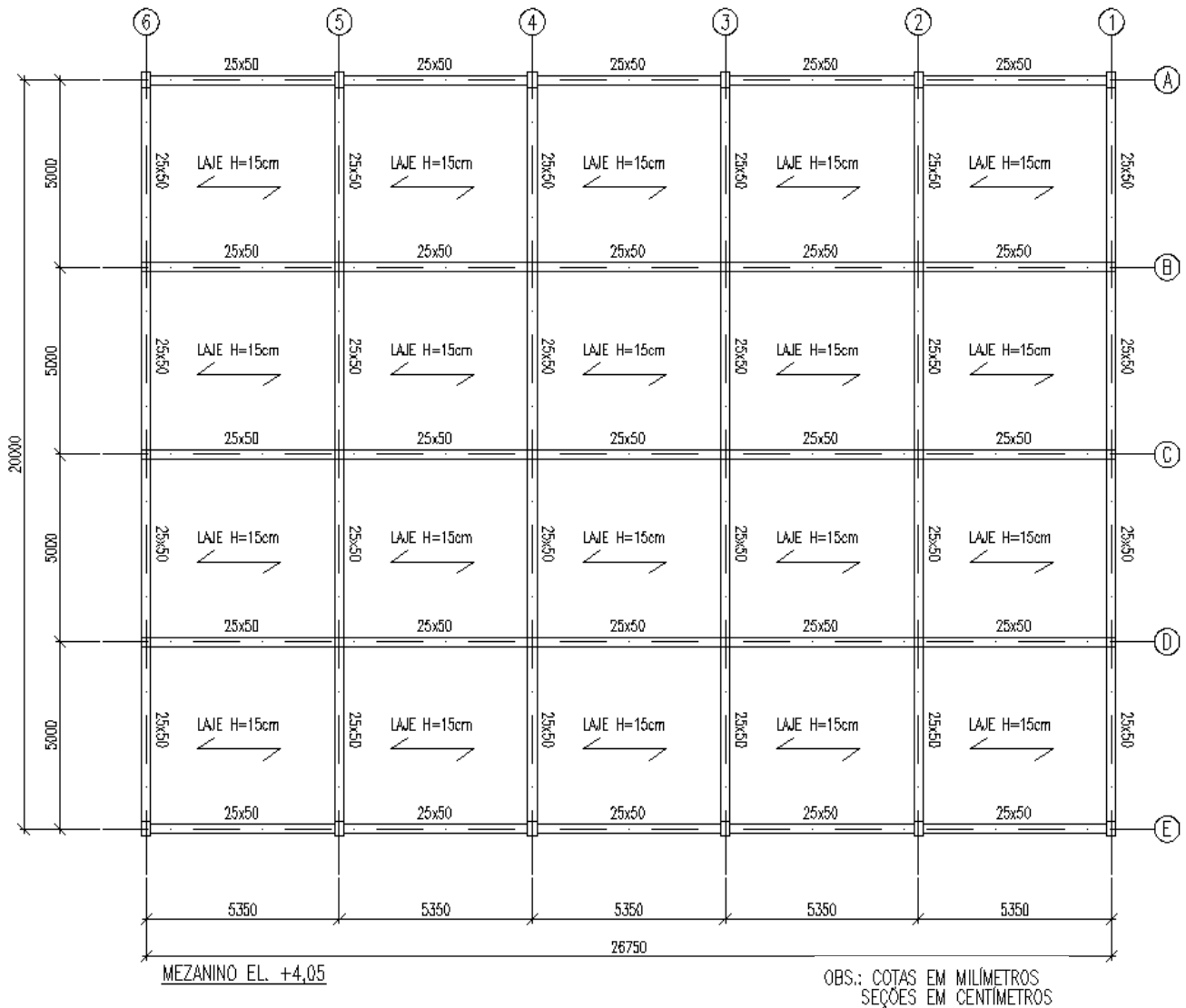


Figura 6 – Planta baixa de locação das vigas do mezanino em concreto pré-moldado.

As vigas de concreto para sustentação do mezanino aparecem dispostas uniformemente em planta com seções não variáveis de 25x50cm, servindo de apoio para laje pré-moldada com altura total de 15cm.

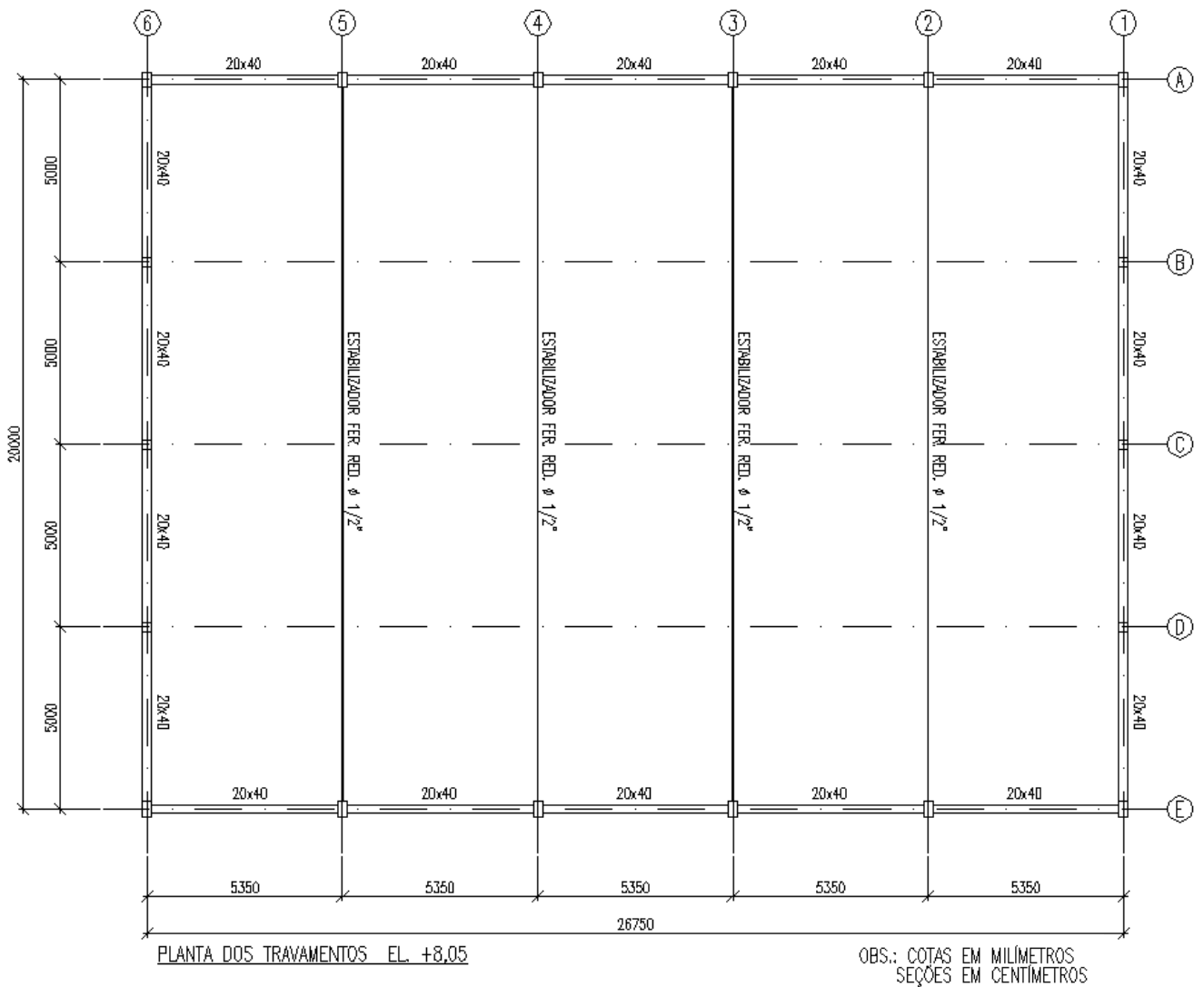


Figura 7 – Planta de localização dos travamentos para estrutura em concreto pré-moldado.

Os travamentos da estrutura são executados a partir de vigas de contorno em concreto no perímetro do galpão, e possuem seção 20x40cm. Também para travamento da estrutura dos pórticos principais são utilizados estabilizadores (tensores) em ferro redondo com $\varnothing 1/2"$.

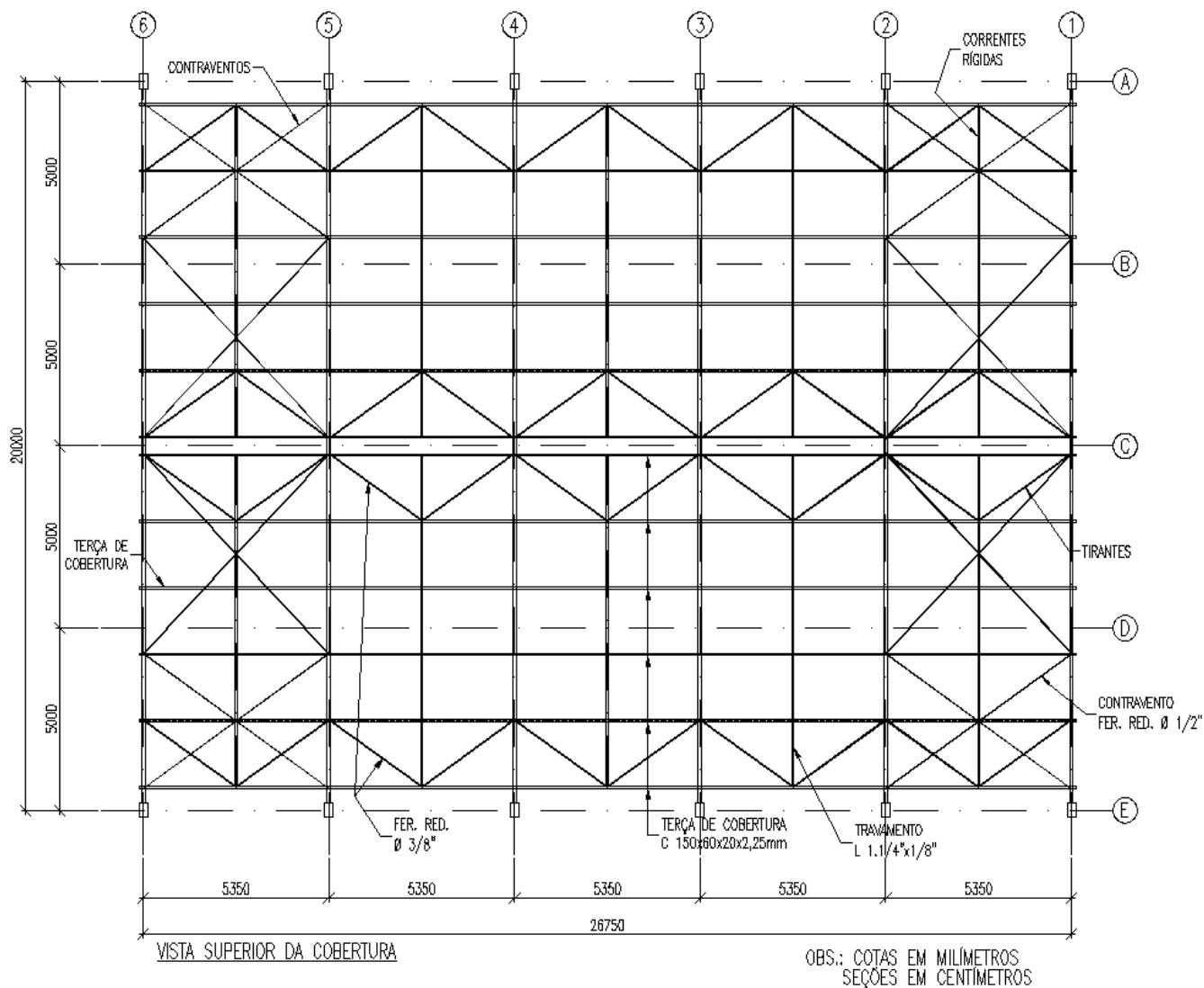


Figura 8 – Vista superior da cobertura para estrutura em concreto pré-moldado.

Para cobertura do pavilhão são utilizadas vigas de concreto armado em T, para os demais elementos que compõem a cobertura, terças, travamentos e amarrações são utilizados elementos em aço ASTM A36.

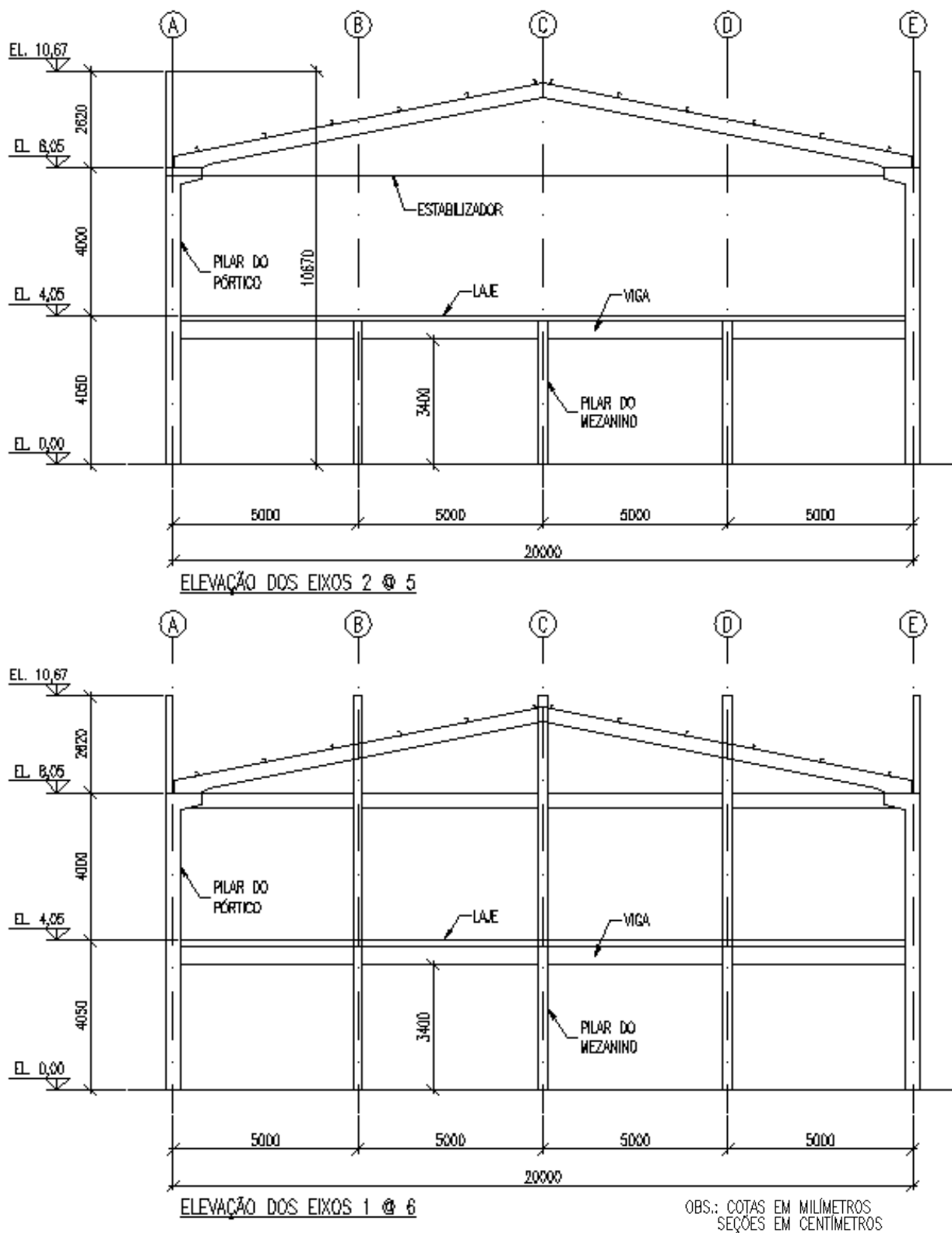


Figura 9 – Elevações transversais da edificação para estrutura em concreto pré-moldado.

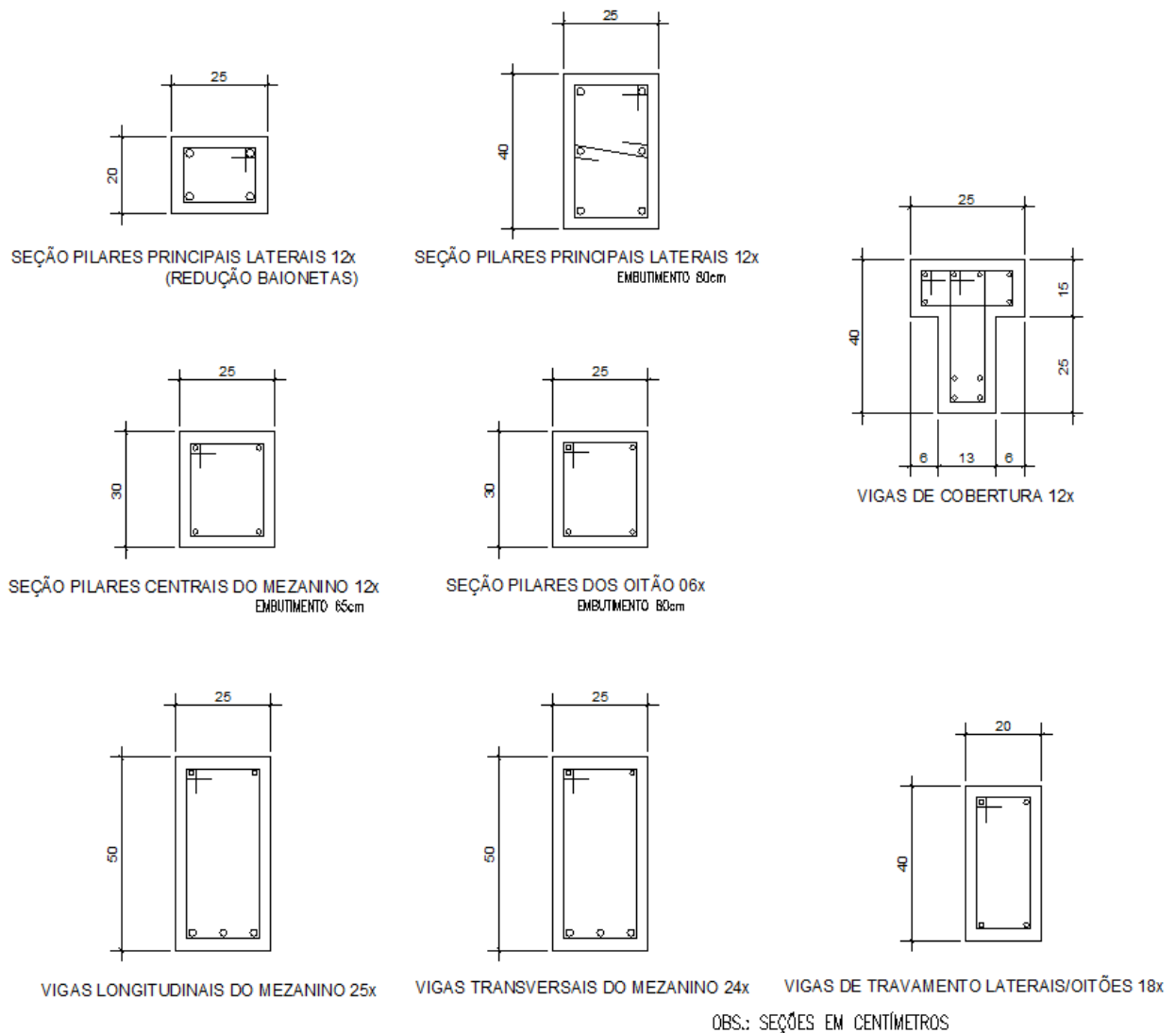


Figura 10 – Seções transversais dos elementos utilizados pela edificação para estrutura em concreto pré-moldado.

Os cortes e seções são representações elaboradas para melhor análise, sendo reproduções básicas do projeto original.

Conforme ADÃO, 2010, estruturas em concreto armado pré-moldado são capazes de agregar maior agilidade na execução da edificação, em comparação com estruturas de concreto moldadas in loco. Esta forma de construção mantém maior limpeza no canteiro de obras e elimina tempo com fôrmas, cura do concreto e o processo, bastante artesanal, de montagem das armaduras no canteiro de obras.

O concreto pré-moldado utiliza formas padrão em aço, eliminando gastos com madeira e mão de obra, porém por utilizar formas padrão, em muitos casos existe um sobredimensionamento da estrutura, produzindo um consumo maior de insumos.

4.2.1 Considerações sobre modelo executado em concreto pré-moldado

Tais projetos apresentados correspondem como solução para as necessidades verificadas pela empresa contratada para execução dos serviços de construção, assim o projeto visa primeiramente à busca de uma solução eficiente e econômica no mercado de concorrências, também sofrendo influências decorrentes de prazos. Desta forma, o projeto fornece uma solução prática às necessidades dos seus clientes. Assim, do ponto de vista teórico existem aspectos pouco eficientes, como o emprego de elementos com elevada utilização de materiais, sendo estas justificadas pela utilização das formas de pré-moldados, onde fatores econômicos influenciam e tendem a um projeto mais prático e menos conservador do ponto de vista dos recursos de matérias-primas.

4.2.2 Consumo de cimento portland e aço para edificação em concreto pré-moldado

A tabela a seguir apresenta os quantitativos do consumo dos materiais analisados para estrutura em concreto. Os consumos listados seguem as informações recebidas pelo fornecedor da estrutura do pré-moldado.

Tabela 6 – Consumo de aço e cimento para opção em estrutura de concreto.

Consumo de aço e cimento para opção em estrutura de concreto						
Estrutura principal	Vol. Concreto		Cimento		Aço	
Pilares externos	12,861	m ³	4630,0	kg	2034,9	kg
Pilares interno	4,095	m ³	1474,2	kg	390	kg
Pilares de oitão	5,1615	m ³	1858,1	kg	480	kg
Vigas do mezanino	30,040	m ³	10814,4	kg	2608,1	kg
Vigas de contorno	7,120	m ³	2563,2	kg	418,3	kg
Vigas de cobertura	10,098	m ³	3635,3	kg	918,9	kg
Total	69,3755	m³	24975,2	kg	6850,2	kg
Cobertura						
FERRO ϕ 12,7mm	-	-	-	-	115	kg
C 150x60x20x2,25mm	-	-	-	-	1670	kg
L 1.1/4" 1/8"	-	-	-	-	289	kg
FERRO ϕ 9,5mm	-	-	-	-	60	kg
Total	-	-	-	-	2134	kg
Total do Consumo	69,3755	m³	24975,18	kg	8984,2	kg

O concreto utilizado na estrutura possui propriedades de resistência de $F_{ck}=30\text{MPa}$, após 28 dias. E o traço adotado possui um consumo de 360kg de cimento por m^3 de concreto.

4.3 Projeto da edificação em estrutura metálica

Da mesma forma que a estrutura executada em concreto pré-moldado, o sistema de estrutura metálica foi calculado e desenvolvido a partir de conceitos práticos e econômicos utilizados pelas empresas do setor na cidade, que concentra um parque industrial muito amplo, baseado fundamentalmente neste sistema de edificações.

O projeto reproduzido em estrutura metálica buscou se assemelhar ao projeto original sem alterações nas disposições, acréscimo ou remoção de segmentos originais.

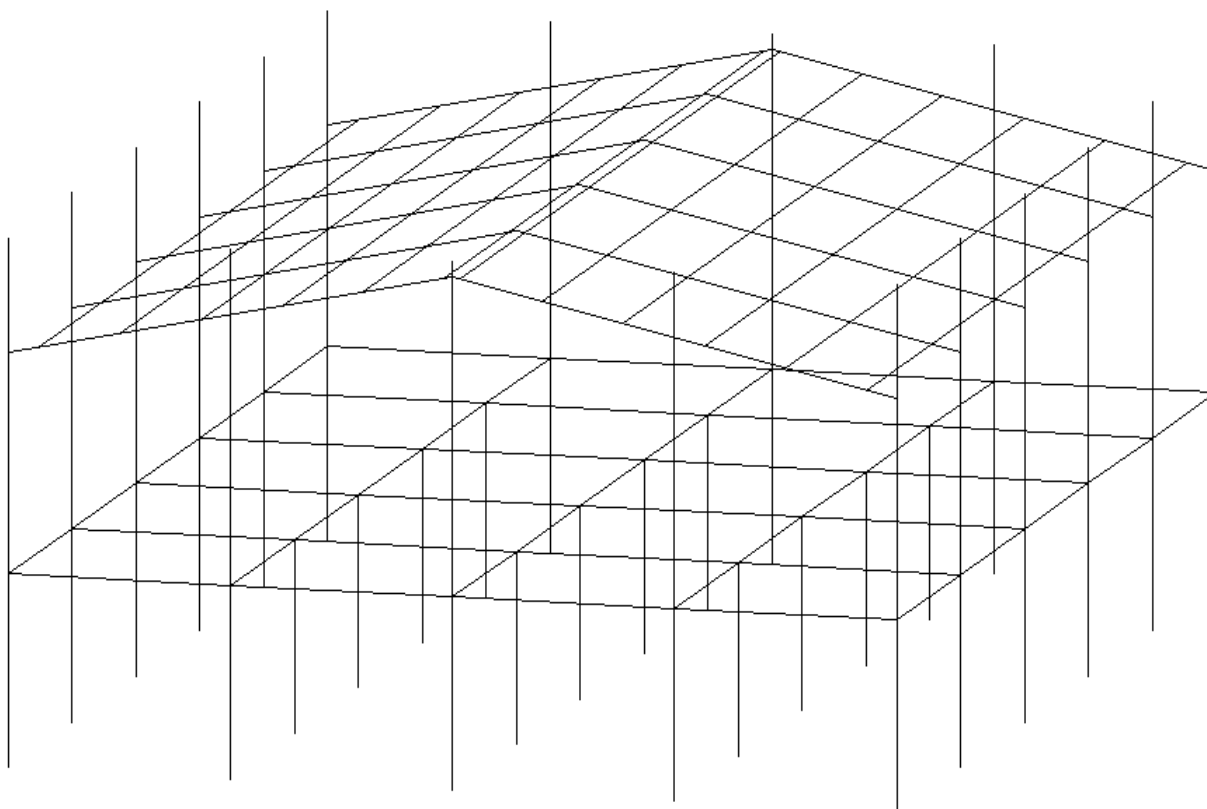


Figura 11 – Projeto perspectivo unifilar utilizado para cálculo da estrutura em aço.

Os materiais utilizados no modelo metálico são os seguintes:

- Perfis laminados ASTM A572 GR50
- Chapas em geral ASTM A36

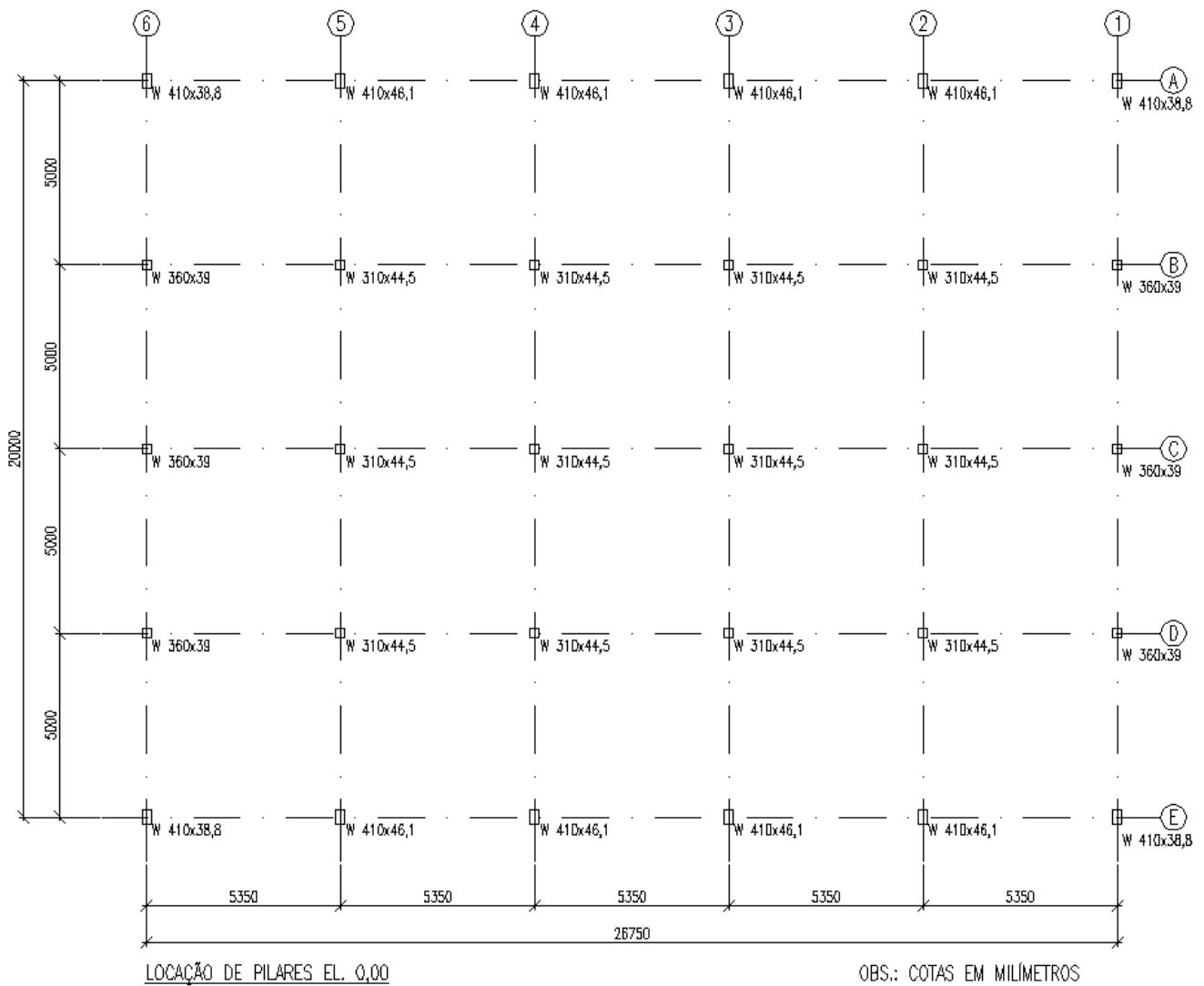


Figura 12 – Planta baixa de localização dos pilares metálicos.

A planta de locação de pilares apresenta a distribuição dos pilares principais e de apoio do mezanino. Os pilares externos possuem altura total da edificação, já os pilares para apoio do mezanino são interrompidos no nível do mesmo.



Figura 13 – Planta baixa de locação das vigas do mezanino em perfis laminados metálicos.

As vigas metálicas para sustentação do mezanino são dispostas conforme necessidade, possuindo variações de dimensionamento entre vigas principais de apoio e vigas de travamentos, servindo de apoio para laje pré-moldada com altura total de 15cm.

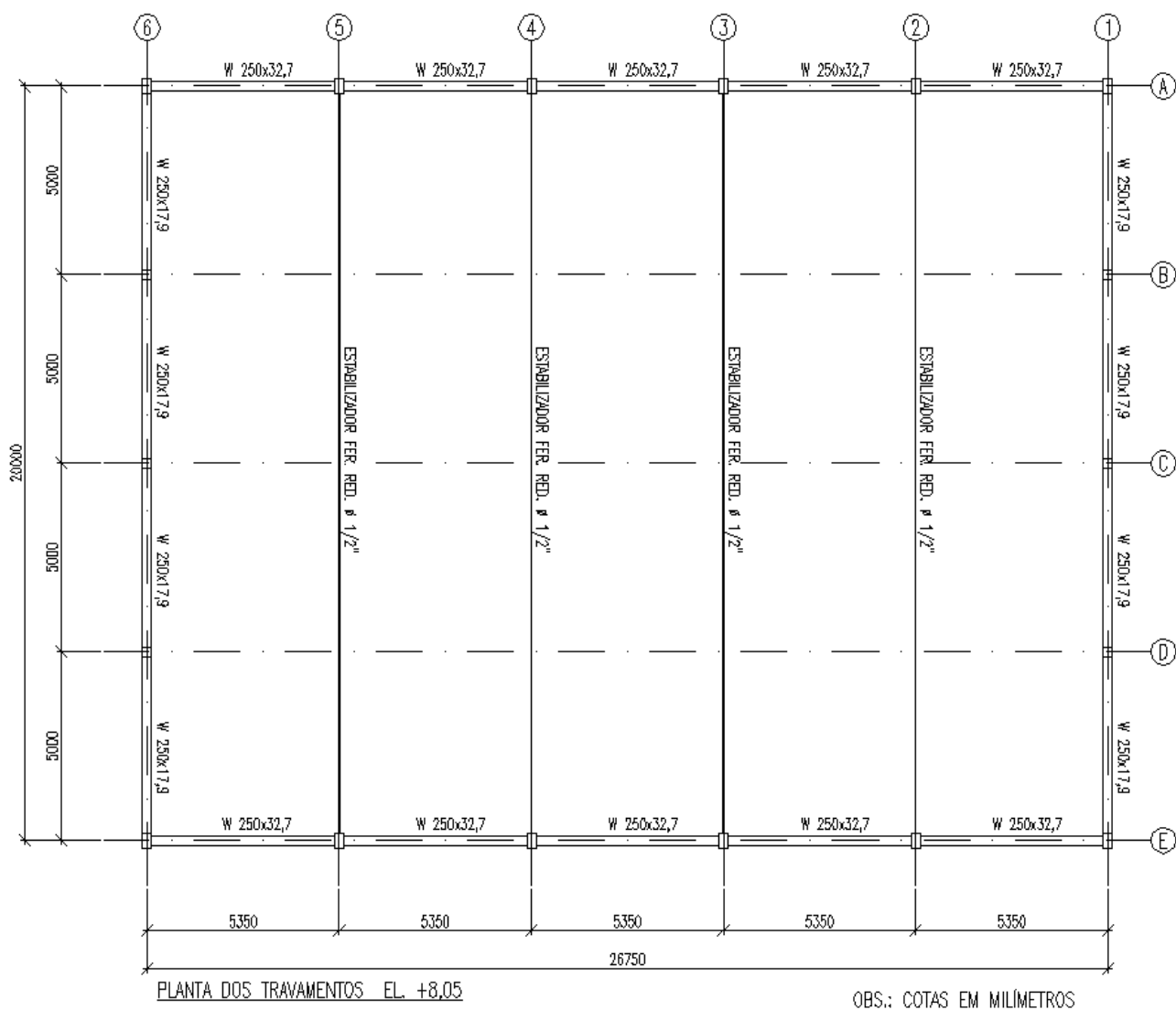


Figura 14 – Planta de locação dos travamentos para estrutura metálica.

Os travamentos da estrutura são executados de forma semelhante aos utilizados para estrutura original, sendo adicionados apenas contraventos laterais verticais, necessários para estabilizações dos deslocamentos laterais da estrutura, em barra redonda $\varnothing 1/2"$.

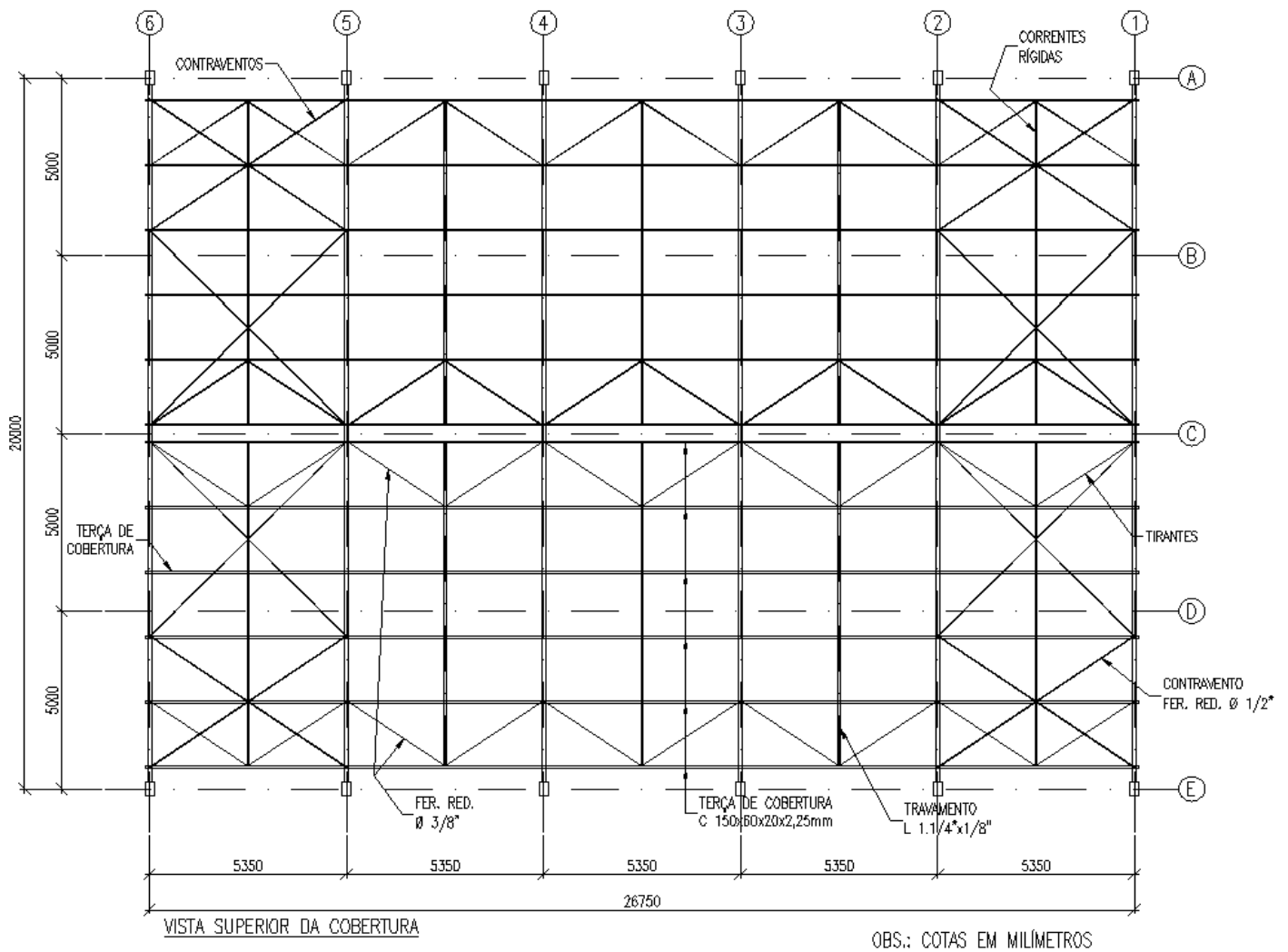


Figura 15 – Vista superior da cobertura para estrutura metálica.

A estrutura da cobertura do pavilhão não foi alterada, pois esta possui em seu projeto original elementos metálicos dimensionados adequadamente ao sistema metálico proposto, apenas a viga de cobertura sofreu alteração de cálculo.

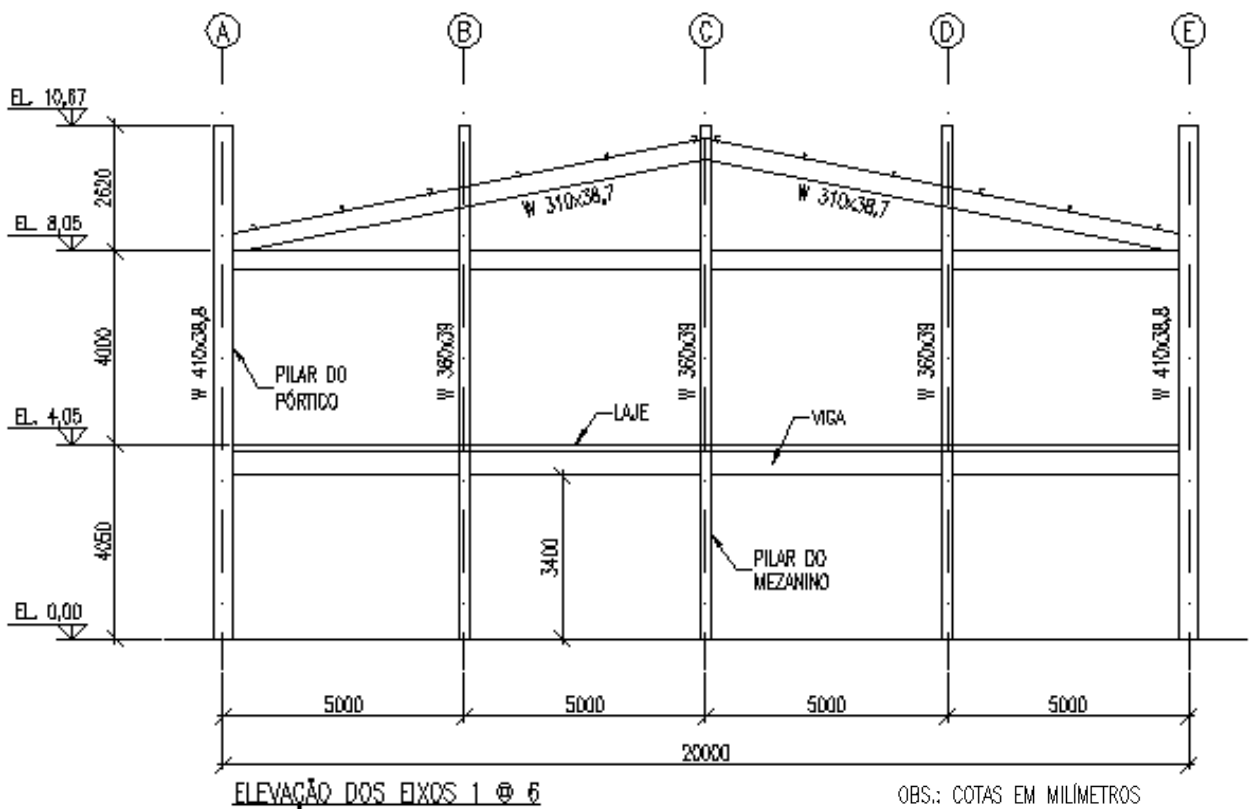
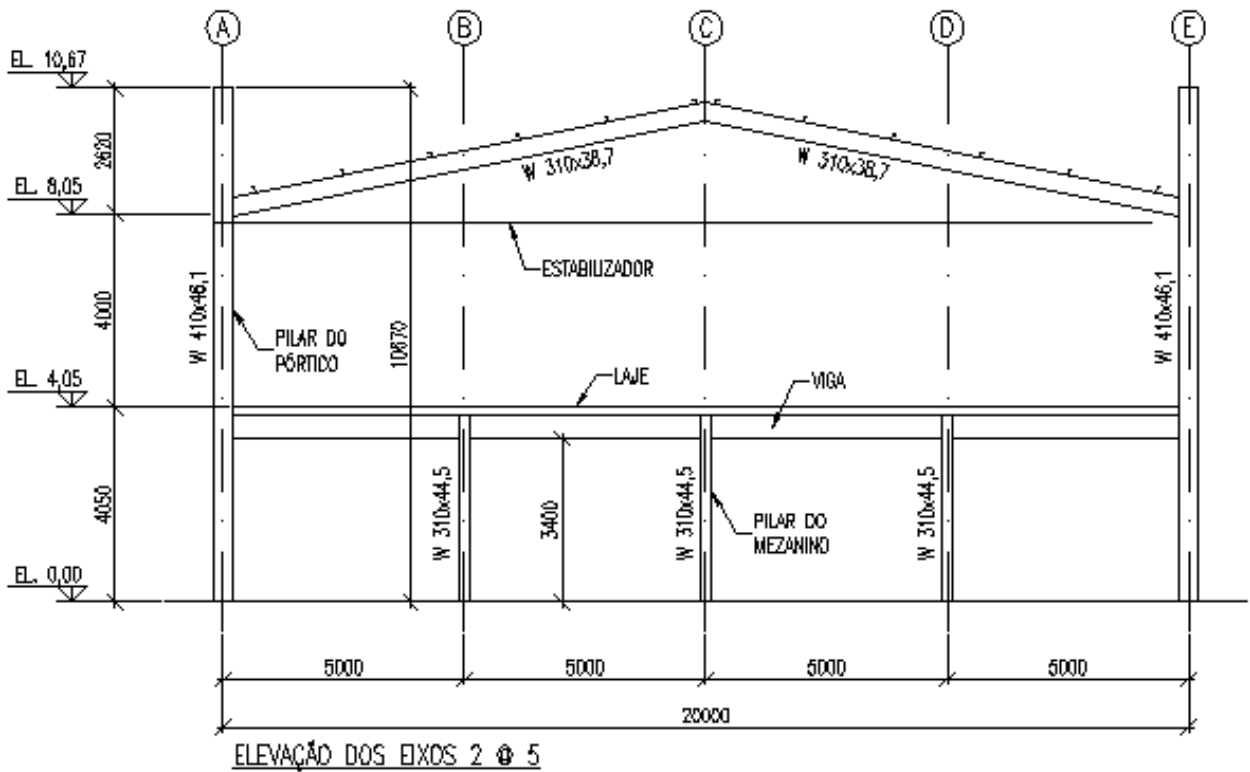


Figura 16 – Elevações transversais da edificação para estrutura metálica.

Para BELLEI, 2010, estruturas de aço trazem relativas vantagens em comparação a estruturas de concreto pré-moldado. O aço é um material com maior homogeneidade e por ter módulo de elasticidade e limite de escoamento bem definidos as estruturas de aço trazem uma maior confiabilidade. Este modelo de estrutura possui também relação resistência x peso muito melhores, em comparação ao concreto pré-moldado, assim agilizam muito sua instalação e montagem além de proporcionar consideráveis reduções de cargas nas fundações.

4.3.1 Considerações sobre modelo projetado em estrutura metálica

Conforme comentário citado anteriormente sobre considerações a respeito do projeto executado pela empresa fornecedora do projeto de estrutura em concreto pré-moldado, o dimensionamento para estrutura do sistema em aço segue a lógica do mercado, buscando a otimização dos recursos e mão de obra, gerando um projeto que vise primeiramente a competitividade econômica no mercado. Assim, podem ocorrer segmentos sobredimensionados nos cálculos práticos utilizados pela engenharia do setor produtivo.

O projeto metálico buscou reproduzir a estrutura em concreto, executando o dimensionamento em perfis laminados para uma configuração próxima ao modelo existente.

Informações a respeito dos cálculos verificados para estrutura metálica, podem ser encontradas no Anexo 1, *Memória de cálculo para solução em estrutura metálica*. Inicialmente foram verificadas as ações adotadas para cálculo do sistema metálico considerando as características peculiares da edificação. As ações permanentes consideradas nos cálculos para dimensionamento se referem a todas as cargas que estão permanentemente sendo suportadas pela estrutura, como telhas, terças e acessórios. As ações de sobrecargas são as cargas que podem ou não ocorrer nas estruturas e são indicadas através de norma. Essas cargas têm sua aplicação e sua intensidade bastante definidas. As ações de vento são dimensionadas a partir da localização da obra e tem seus parâmetros definidos em função da ocupação, rugosidade do terreno e geometria da obra. Com as ações definidas, é necessário realizar as combinações dessas ações para obtenção dos esforços da estrutura e assim poder realizar o dimensionamento.

4.3.2 Consumo de aço para edificação em estrutura metálica

De posse dos resultados obtidos após o cálculo do modelo em estrutura de aço, se encontra na tabela a seguir o consumo de aços utilizados para opção estrutural adotada.

Tabela 7 – Consumo de aço para opção em estrutura metálica.

Consumo de aço para opção em estrutura metálica		
Estrutura principal	Aço	
W 310x38,7	6408,7	kg
W 410x46,1	3935,1	kg
W 200x26,6	2277	kg
W 410x38,8	4677	kg
W 310x44,5	2082,6	kg
W 250x17,9	730,2	kg
W 250x32,7	3401,5	kg
W 360x39	1877,9	kg
W 360x32,9	122,5	kg
Total	25512,5	kg
Cobertura		
FERRO ϕ 12,7mm	225,4	Kg
C 150x60x20x2,25mm	1670	Kg
L 1.1/4"1/8"	289	Kg
FERRO ϕ 9,5mm	60	Kg
Total	2244,4	Kg
Total do Consumo	27756,9	Kg

A tabela acima apresenta o valor consolidado do total de aço utilizado para reprodução da edificação em estrutura de aço, somando uma massa total de 27.756,9 kg.

O quantitativo apresentado acima foi extraído do software utilizado para cálculo da estrutura.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados comparativamente os resultados da estrutura de concreto armado pré-moldado e da estrutura em aço, com análise referente ao consumo de materiais, consumos de energéticos por sistema e as liberações de CO₂ na atmosfera.

5.1 Consumo energético agregado a edificação de pequeno porte pelos sistemas construtivos em aço e concreto pré-moldado

Os estudos de comparação entre as estruturas desenvolvidas em concreto pré-moldado e estruturas em aço, aplicadas em uma edificação com características idênticas, apresentaram um consumo distinto em termos de consumo de aço e cimento, conforme representado no gráfico abaixo:

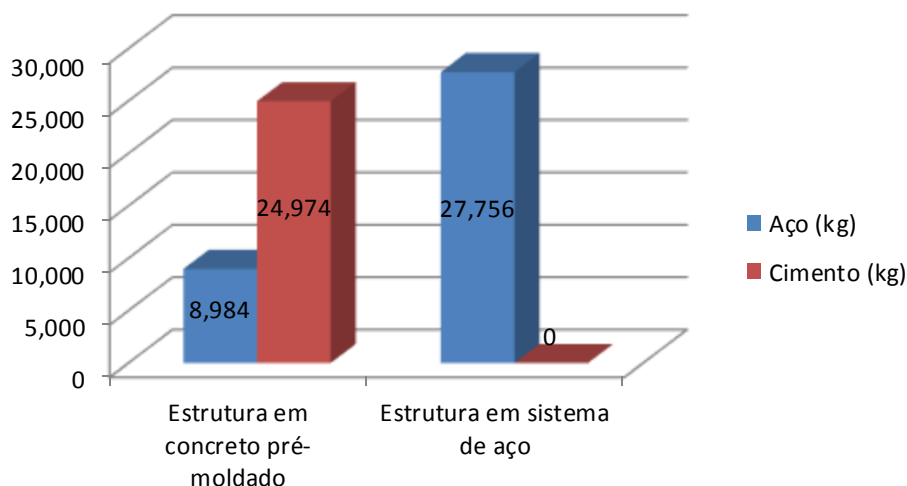


Figura 17 – Gráfico do consumo de aço e cimento pelos sistemas de estruturas.

O gráfico de consumo anexado acima, se refere a utilização de aço e cimento para confecção da estrutura principal do galpão. Conforme informado no item 3 deste trabalho de pesquisa, não estão contemplados quantitativos referentes a fundações, pisos, lajes e alvenarias, assim como não são analisados demais materiais agregados para produção de edificações em concreto armado pré-moldado e estruturas de aço.

Podemos verificar que para a estrutura em concreto armado é utilizada uma quantidade considerável de aço 8,94 toneladas, além de 24,97 toneladas de cimento necessário para produção do concreto. Para estrutura primária de um sistema de aço para a edificação é consumido um total de 27,75 toneladas de aço.

A partir da massa consumida pelos sistemas construtivos, de forma individual, é possível relacionar este total de matéria-prima, com o consumo energético necessário na produção de tais insumos. O consumo energético total para produção do aço é equivalente a 0,476 tep/t, da mesma forma a produção de cimento consome um total de 0,076 tep/t. Assim, o consumo agregado aos diferentes sistemas construtivos pode se verificar no gráfico seguir.

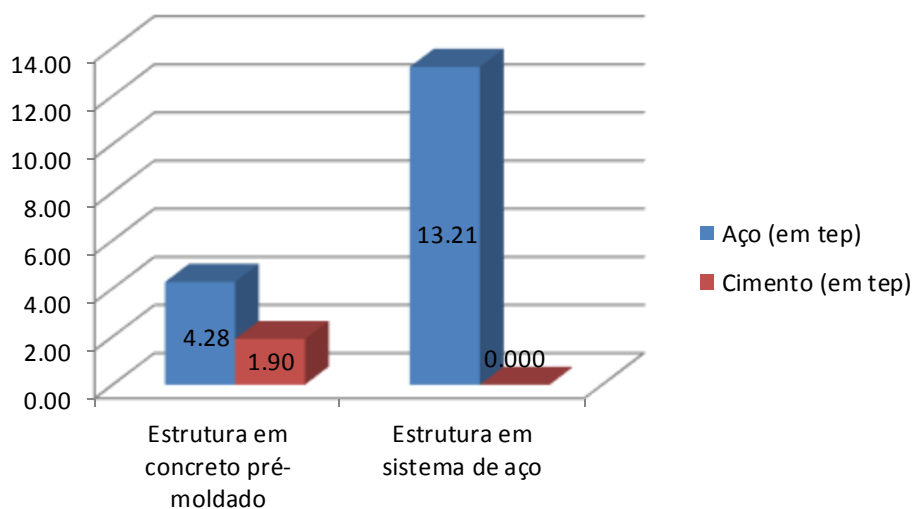


Figura 18 – Gráfico do consumo energético agregado ao aço e ao cimento pelos Sistemas de estruturas.

Com base nos estudos realizados, é possível definirmos os resultados principais do estudo proposto, apresentando o consumo energético agregado aos principais materiais utilizados na construção civil para a edificação de pequeno porte analisada, e avaliar separadamente as soluções propostas em aço e concreto armado.

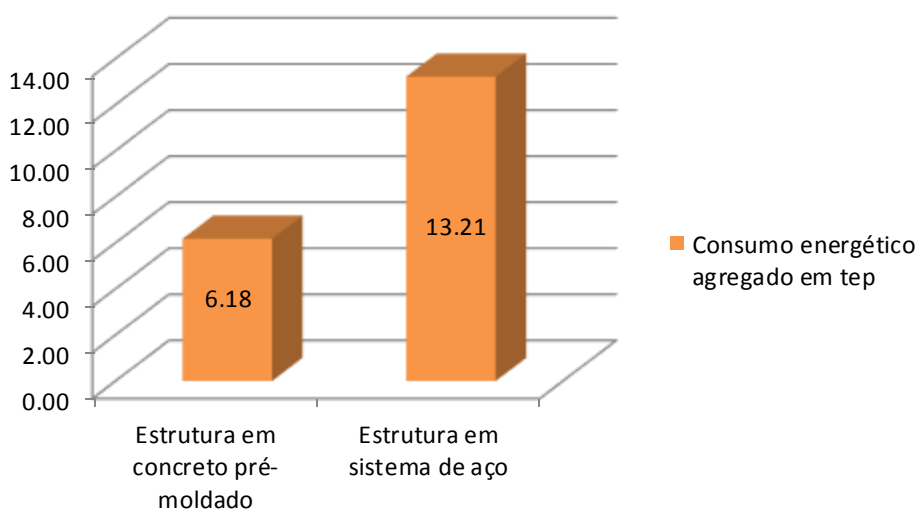


Figura 19 – Gráfico proporcional do consumo total agregado de energia entre as estruturas.

Segundo os resultados, o modelo construtivo metálico através do consumo de 27,75 toneladas de aço, possui um valor agregado de energia equivalente a 13,21 toneladas de petróleo. Conforme dados obtidos na mesma análise, o modelo construtivo em concreto armado pré-moldado através do consumo de 8,98 toneladas de aço e outras 24,97 toneladas de cimento, possui um valor agregado de energia equivalentes a 6,17 toneladas de petróleo.

Um dado secundário importante para os estudos em eficiência energética é a massa total das estruturas analisadas. Com um volume de 69,37m³ de concreto e massa específica de 25kN/m³ para concreto armado, obtemos um total para estrutura em concreto de 173,4 t.

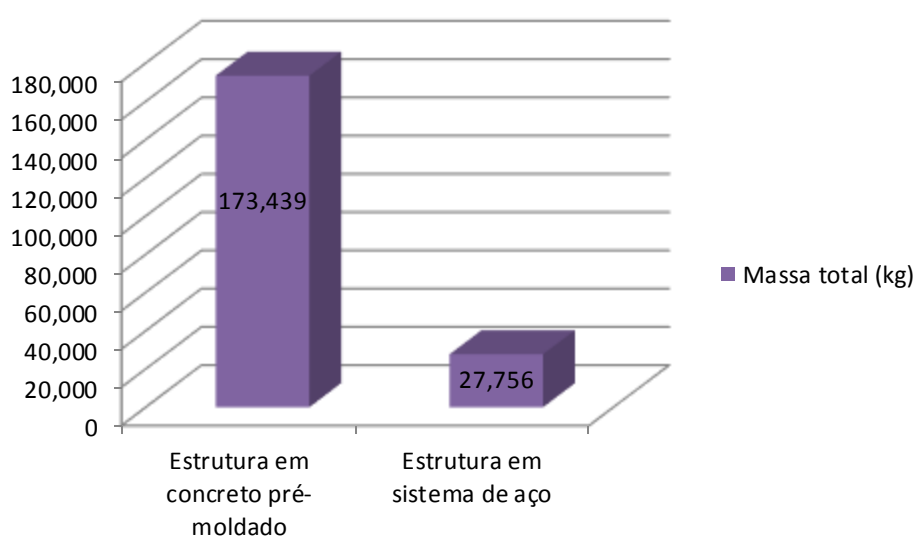


Figura 20 – Gráfico proporcional da massa total entre as estruturas.

Vale destacar, que a estrutura em aço possui massa inferior a 1/6 da massa total da estrutura em concreto armado pré-moldada. Com uma massa muito superior, a estrutura em concreto armado possui consumos secundários no processo (não analisados pela pesquisa), como consumo agregado pelas demais matérias-primas, transportes, manuseio, entre outros.

5.2 Emissões de CO₂ referentes a edificação de pequeno porte pelos sistemas construtivos em aço e concreto pré-moldado

A produção de aço e cimento possuem processos intensivos no consumo de energéticos, principalmente através da queima dos recursos, gerando co-produtos na forma de resíduos e gases. Entre os gases liberados, está o dióxido de carbono, responsável pelo aquecimento global.

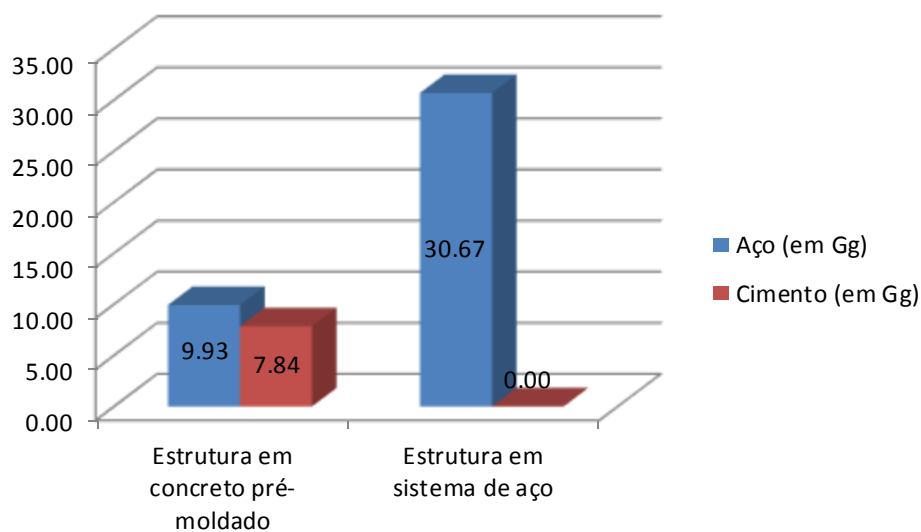


Figura 21 – Gráfico das emissões de CO₂ na produção do aço e do cimento para edificação relativo às formas de estrutura.

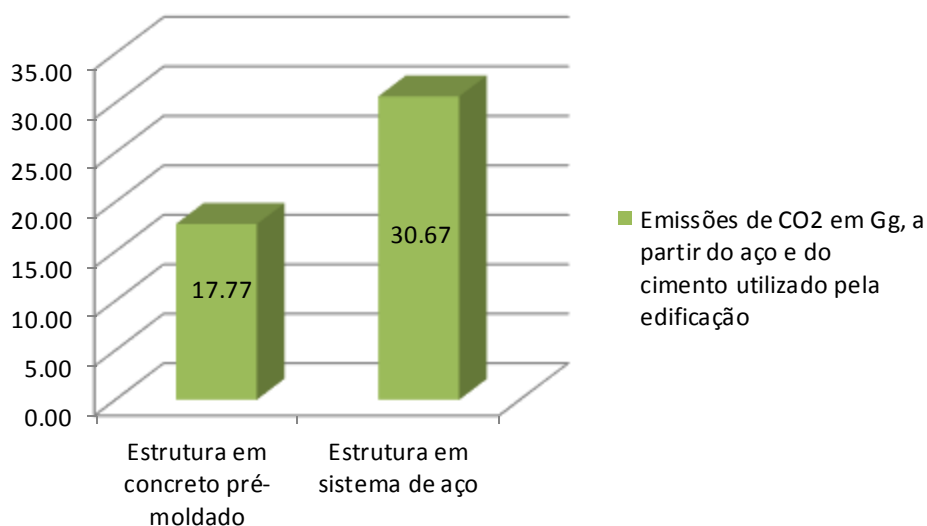


Figura 22 – Gráfico proporcional das emissões de CO₂ na produção do aço e do cimento para edificação relativo às formas de estrutura.

Relacionando as emissões totais de CO₂ (segundo dados da Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento referentes ao ano de 2010), com os dados encontrados pelos sistemas construtivos é possível estabelecermos parâmetros dos montantes liberados de CO₂, relativos dos insumos analisados. Assim, o modelo construtivo metálico através do consumo de 27,75 toneladas de aço, emitiu um total de 30,67 Gg de CO₂ e conforme dados obtidos na mesma análise, o modelo construtivo em concreto armado pré-moldado através do consumo de aço 8,98 toneladas de aço e outras 24,97 toneladas de cimento emitiu um total de 17,77 Gg de CO₂.

6 RESULTADOS E CONCLUSÕES

A realização da revisão bibliográfica, fundamentada sobre a análise dos dados divulgados por organizações competentes nos setores estratégicos da produção de matérias-primas, análise de consumos energéticos e emissões de poluentes, forneceram subsídios necessários para realização das verificações utilizadas na análise do consumo energético agregado pelos modelos estruturais analisados. Logo, possibilitou quantificar o consumo energético equivalente em petróleo para produção do aço e do cimento portland, apresentando grande discrepância entre os consumos agregados por toneladas entre os materiais.

O estudo proposto comparou e reproduziu uma edificação com uso e configuração semelhantes ao modelo executado em concreto pré-moldado, resultando em consumos equivalentes bastante distintos em uma proporção aproximada de 1:2, sendo que a estrutura original em concreto pré-moldada mostrou um consumo analisado próximo à metade do consumo em comparação a estrutura metálica proposta. Outro resultado importante a ser destacado é a massa total das estruturas, onde 100% da matéria-prima do sistema em aço esta quantificada e seu consumo energético contabilizado, enquanto que para a estrutura original em concreto apenas 19,6% da massa total da estrutura representa aço e cimento, não sendo analisados os demais agregados utilizados no concreto. Essa maior massa significa um consumo maior em processos não abordados neste estudo, intensificando o consumo energético através da extração das matérias-primas, no transporte, manuseio e na preparação destes materiais.

De fato, o estudo proposto apresentou que a edificação original em concreto pré-moldado possui um consumo energético significativamente menor que a solução metálica desenvolvida, a partir da condição de interesse analisada pela pesquisa, através da verificação sobre o consumo agregado ao aço e cimento utilizado na construção da estrutura principal do galpão de pequeno porte. Cabe ressaltar que a proposta metálica simulou fielmente as condições impostas pela estrutura de concreto existente, assim os resultados obtidos são específicos para edificação estudada não devendo ser generalizados para outros comparativos entre estruturas de aço x concreto pré-moldado.

Sendo a estrutura metálica uma grande consumidora de energéticos, surge a necessidade de buscar projetos mais eficientes no consumo de materiais para produção deste modelo construtivo, como também reduzir o consumo energético durante a fabricação de sua matéria-prima: o aço. A *rota semi-integrada* produz aço a partir de sucata, o que reduz muito

o consumo energético e de recursos naturais não renováveis. Esta solução porém, necessita da coleta e reciclagem dos materiais, sendo imprescindível a contribuição do estado através de políticas públicas e incentivos econômicos para atrair a participação dos envolvidos.

A redução no consumo de aço, em estruturas metálicas passa pela relação peso/vão muito superior ao concreto, sendo assim, análises para edificações de maior porte trariam reduções. Para a edificação proposta, modificações no projeto como o aumento do espaçamento entre os pórticos, a eliminação dos pilares para apoio do mezanino ou até mesmo a substituição de perfis laminados por componentes treliçados, trariam grandes reduções de materiais para esta edificação, e a eliminação de elementos contribuiria com as condições da edificação gerando ambientes mais amplos.

Desta forma, conclui-se que existe a possibilidade de incorporar processos de eficiência no decorrer de todo o sistema de construção de uma edificação. Estratégias e ações na área podem contribuir para redução nos níveis de consumo dos recursos naturais do planeta. Medidas para redução do consumo de energia estão sendo desenvolvidas e aprimoradas buscando diminuir o consumo de energia no processo produtivo, gerando uma produção mais eficiente e sustentável, trazendo significativas mudanças no consumo para edificações de pequeno porte.

REFERÊNCIAS

ABCP. **Anuário Brasileiro do Setor de Concreto**. 8 ed. – São Paulo; Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2014. 196p.

ADÃO, Francisco Xavier; HEMERLY, Adriano Chequetto. **Concreto Armado: novo milênio, cálculo prático e econômico**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

ADM. **Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico (2025): Eficiência Energética na Siderurgia** / Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2009 (Nota Técnica).

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. – Brasília : Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6120:1980**. Cargas para o cálculo de estruturas de edificação. Rio de Janeiro: 1980.

_____. **NBR 8800:2008**. Projetos de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios. Rio de Janeiro: 2008.

_____. **NBR 6118:2007**. Projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro: 2007.

_____. **NBR 14611:2000**. Desenho Técnico Representação de Estruturas Metálicas. Rio de Janeiro: 2000.

_____. **NBR 14611:2000**. Desenho Técnico Representação de Estruturas Metálicas. Rio de Janeiro: 2000.

_____. **NBR 9062:2001**. Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: 2001.

_____. **NBR 13531:1995**. Elaboração de projetos de edificações. Rio de Janeiro: 1995.

_____. **NBR 12655:1996**. Concreto - Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro: 1996.

BARBOZA, Marcos R.; BASTOS, Paulo S. **Traços de concreto para obras de pequeno porte**. UNESP, 2012.

BELLEI, Ildony H. **Edifícios industriais em Aço: Projeto e Cálculo**. 6.ed. São Paulo: Pini, 2010.

BELLEI, I.H.; BELLEI, H. N.; **Edifícios de Pequeno Porte Estruturados em Aço. Manual de Construção em Aço**. Rio de Janeiro.V. 01. 4ª edição. 2011.

CAUS, Marco Aurélio. **Proposta de solução estrutural em aço para edifício executado em concreto armado: análise de custos e prazos**. Passo Fundo: UPF, 2014.

CNI. **A indústria do aço no Brasil** / Instituto Aço Brasil. – Brasília : Confederação Nacional da Indústria (CNI), 2012.

EPE. **Balanço Energético Nacional 2014: Ano base 2013**. Rio de Janeiro : Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2014.

IAB. **Relatório de sustentabilidade 2014**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil (IAB), 2014.

OLIVEIRA, André Albuquerque Bittencourt. **Inventário das emissões atmosféricas na indústria siderúrgica** / André Albuquerque Bittencourt de Oliveira – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2014.

PORTAL BRASIL. **Construção civil baterá recorde de empregos no primeiro semestre de 2014**. Disponível em: < <http://www.brasil.gov.br/economia-e-mprego/2014/03/construcao-civil-batera-recorde-de-empregos-no-primeiro-semester-de-2014-diz-sinduscon>>. Acesso em: 27 outubro 2014.

SEPED. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília: Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento (SEPED), 2013.

SNIC. **Relatório anual 2013**. Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdf/relatorio_anual_2012-13_web.pdf>. Acesso em: 22 outubro 2014.

TEIXEIRA, Luciane Pires; CARVALHO, Fátima Marília Andrade. **A construção civil como instrumento de desenvolvimento da economia brasileira** / Revista paranaense de desenvolvimento. Curitiba, n. 109, p. 09-26, jul./dez. 2005.

ANEXOS

Anexo 1 - Memória de cálculo para edificação de pequeno porte em estrutura de aço.

Cliente: -

Empreendimento: Edificação de pequeno porte

Título: **MEMORIAL DE CÁLCULO**

<i>REV</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>
0	<i>Emissão Inicial</i>

<i>REVISÃO</i>								
<i>DATA</i>								
<i>EXECUTADO</i>								
<i>VERIFICADO</i>								
<i>APROVADO</i>								

		<i>CLIENTE</i>
--	--	----------------

1 CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO

Edificação para galpão comercial em estrutura metálica, composto por perfis formados a frio, soldados e laminados:

- Local de implantação: Nova Bassano/RS;
 - Utilização: Edifício comercial;
 - Comprimento em Planta: 26,75 metros;
 - Largura em planta: 20 metros;
 - Pé-direito: 8,05 metros;
 - Altura total da edificação: 10,7 metros;
 - Largura de influência dos pórticos: 5,35 metros;
 - Espaçamento entre terças: 1,85 metros;
 - Pé-direito mezanino: 4,05 metros;
 - Inclinação da cobertura: 20%.
-
- Tipos de aço utilizados na fabricação
 - Perfis soldados ou formados a frio: ASTM A-36
 - Barras redondas roscadas: ASTM A-36
 - Perfis W laminados: ASTM A-572 GR50

2 NORMAS APLICADAS NO CÁLCULO ESTRUTURAL

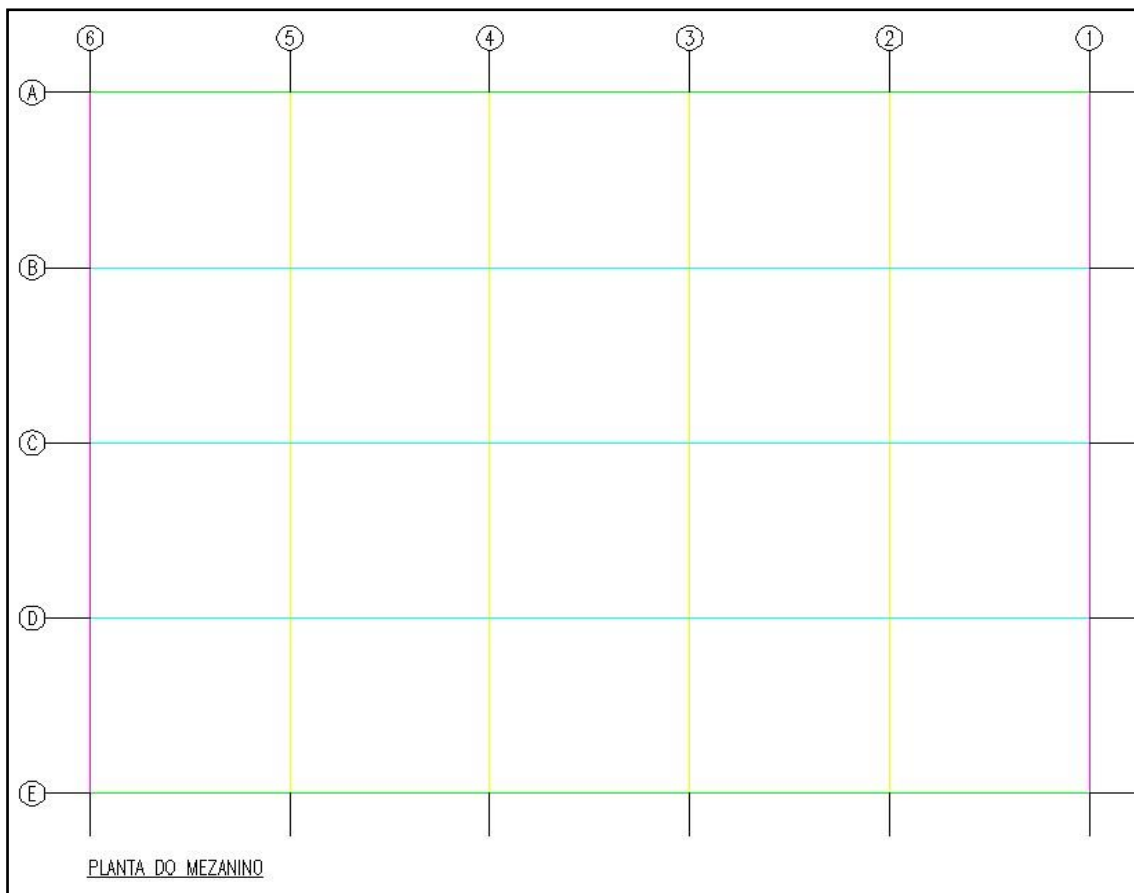
- ABNT NBR 8800:2008 - Cálculo e execução de estrutura de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios;
- ABNT NBR 6123:1988 - Forças devidas ao vento em edificações;
- ABNT NBR 6120:1980 - Cargas para cálculo de estruturas de edificações;
- ABNT NBR 14762:2001 - Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formados a Frio.
- AISI LRFD.

3 AÇÕES INCIDENTES NA ESTRUTURA

- Ações permanentes

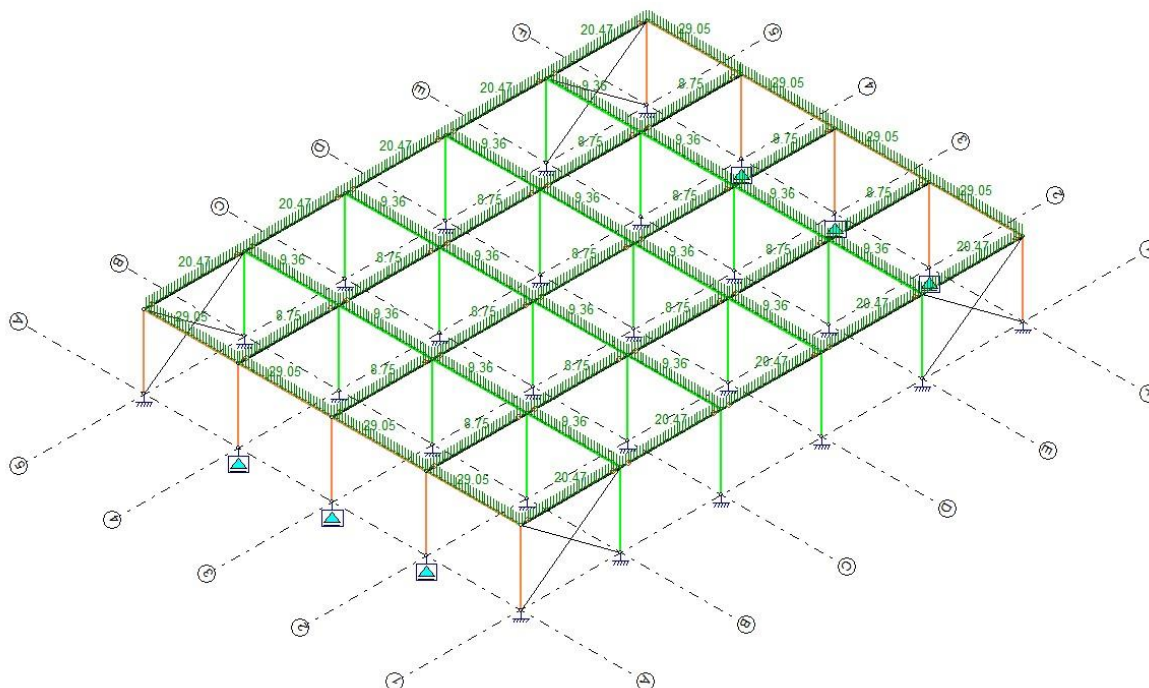
A carga permanente é uma carga vertical composta pelo peso próprio da estrutura e pelo peso dos materiais de acabamento, como chapas de piso, cobertura, tapamento, instalações elétricas, etc. O peso próprio da estrutura é calculado automaticamente pelo software de cálculo.

Identificação das cargas permanentes no mezanino



Abaixo, estão representadas as cargas permanentes que estão aplicadas no mezanino.

Carregamento permanente nas vigas do mezanino



4 AÇÕES ACIDENTAIS

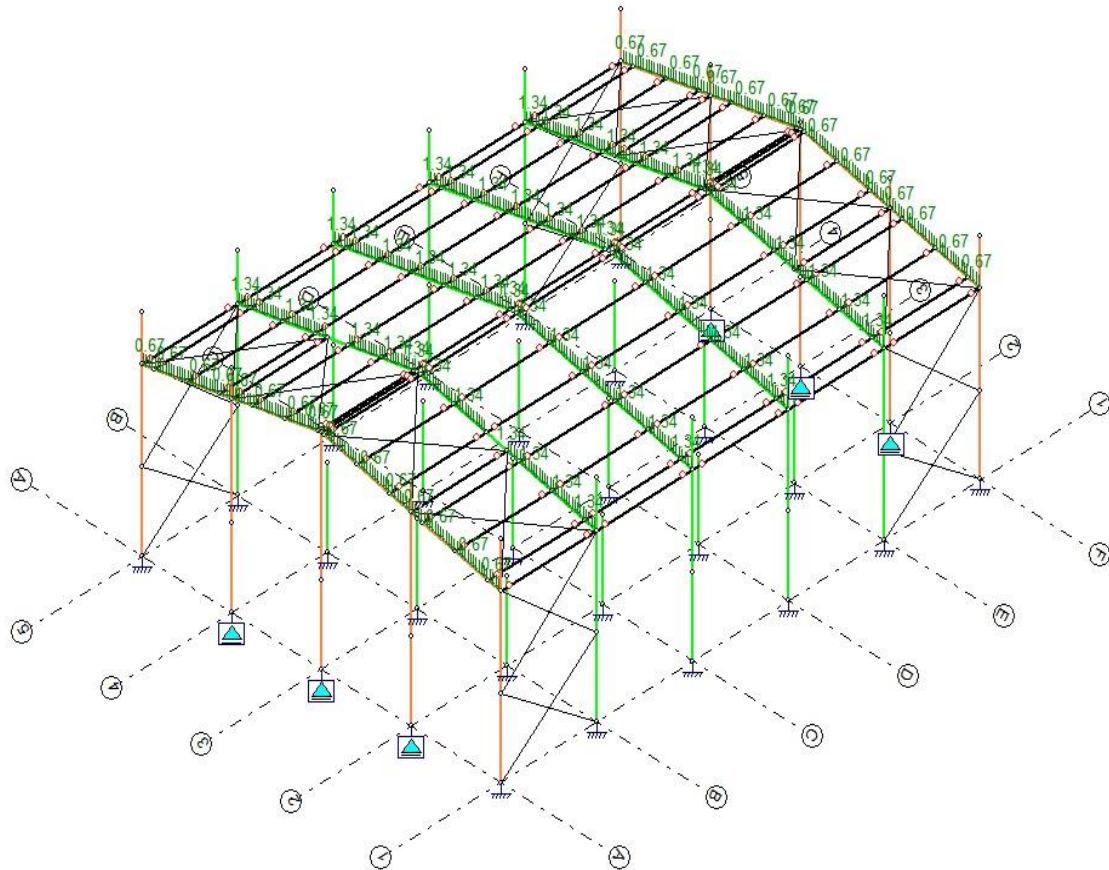
- Sobrecarga

Conforme item B.5.1 da ABNT NBR-8800 (2008) nas coberturas comuns, para dimensionamento, deve ser prevista uma sobrecarga característica mínima de 0,25 kN/m² em projeção horizontal. A carga acidental na cobertura será:

$$F_{q1,k} = 0,25 \text{ kN/m}^2 * 5,35\text{m}$$

$$F_{q1,k} = 1,34 \text{ kN/m}$$

Cargas acidentais na cobertura

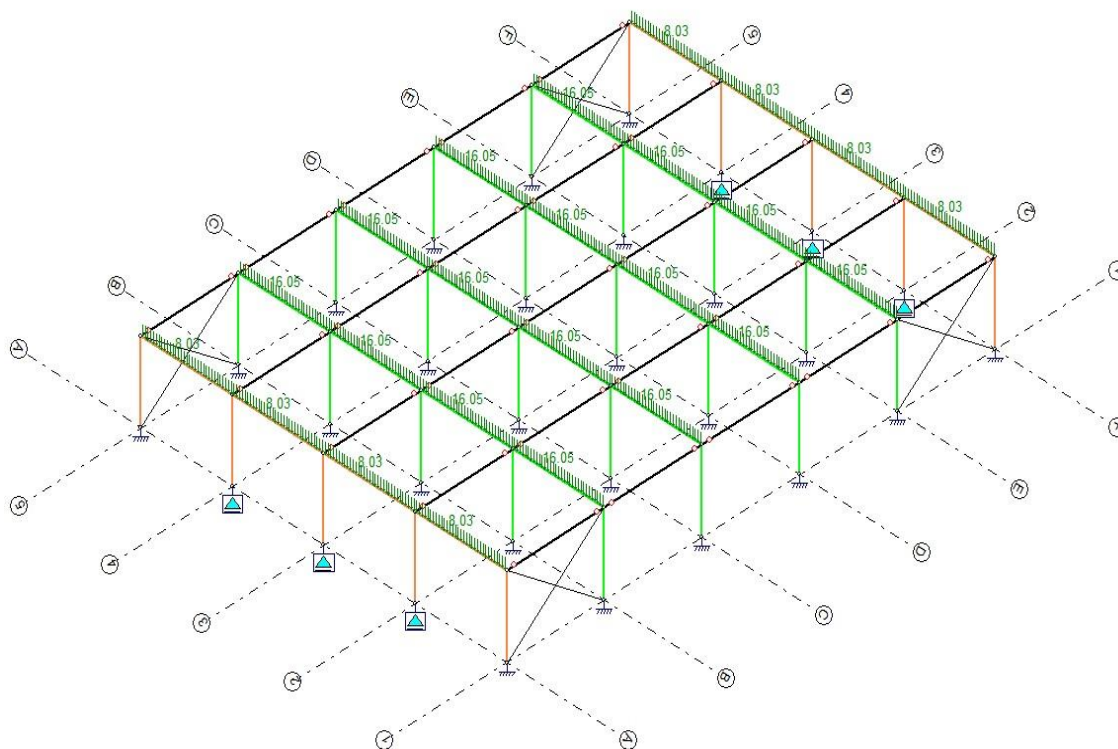


Para o mezanino, a sobrecarga considerada no dimensionamento será de 3 kN/m² e será distribuída apenas nas vigas dos eixos alfabéticos, pois a laje de concreto será armada em apenas uma direção.

$$F_{q1,k} = 3 \text{ kN/m}^2 * 5,35\text{m}$$

$$F_{q1,k} = 16,05 \text{ kN/m}$$

Cargas Acidentais no mezanino



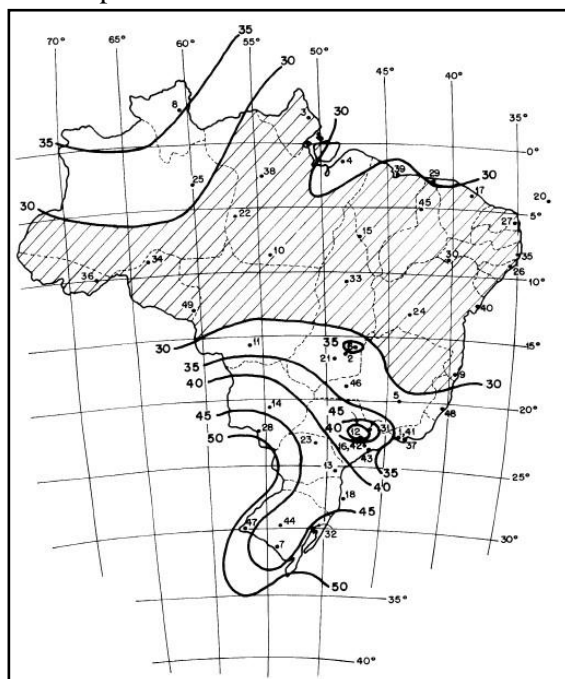
- Cargas devidas ao vento

Nas estruturas de edifícios, a ação do vento pode provocar deslocamentos horizontais significativos e, em consequência, momentos fletores de segunda ordem. Este efeito pode se tornar ainda mais crítico nas edificações com lajes lisas, tendo em vista que neste caso não existe o contraventamento das vigas. Desta maneira, as edificações devem ser suficientemente rígidas não apenas para resistir aos esforços atuantes, mas também garantir a estabilidade global da estrutura.

No Brasil, a norma que gerencia as cargas de vento nas edificações é a ABNT NBR 6123 - Forças devidas ao vento em edificações, de junho de 1988.

Conforme verificação no gráfico de isopletas da velocidade básica do Brasil, considera-se para o local da construção a velocidade básica do vento (V_0) de 45 m/s.

Isopletas das velocidades básicas V_0



- Velocidade Característica do Vento

A velocidade característica do vento depende de fatores topográficos, estatísticos e referentes às dimensões da edificação.

$$V_k = V_0 * S1 * S2 * S3$$

$$V_k = 45,00 * 1,00 * 0,92 * 1,00$$

$$V_k = 41,61 \text{ m/s}$$

- Fator topográfico $S1$

Conforme ABNT NBR 6123 (1988) o fator topográfico considera as variações da superfície do terreno. Para o local da construção adotou-se $S1 = 1,0$, em função do terreno ter características planas.

- Fator de rugosidade, dimensões da edificação e altura sobre o terreno $S2$

O fator $S2$ considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno, e das dimensões da edificação em consideração.

Em consideração a velocidade do vento e as dimensões da edificação, a edificação se enquadra na: Classe C, toda a edificação ou parte da edificação para qual dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20m e 50m. (5.3.2 da ABNT – NBR 6123).

Da tabela abaixo (Tabela 1 da NBR 6123), retiram-se os dados referentes à classe, categoria e fator de rajada referente à classe adotada:

Calculando-se assim o fator $S_2 = b \cdot Fr \cdot (z/10)^p$, onde z é a altura acima do nível geral do terreno.

$$S_2 = b * Fr *(z/10)^p$$

$$S_2 = 0,94 * 0,98 *(10,37/10)^{0,115}$$

$$S_2 = 0,92$$

Parâmetros Meteorológicos

Categoria	z_g (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		F_r	1,00	0,98	0,95
III	350	p	0,085	0,09	0,10
		b	0,94	0,94	0,93
IV	420	p	0,10	0,105	0,115
		b	0,86	0,85	0,84
V	500	p	0,12	0,125	0,135
		b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

Fonte: Tabela 1 da NBR 6123

- Fator estatístico S_3

O fator estatístico S_3 é baseado em conceitos estatísticos, e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. Conforme tabela abaixo (Tabela 3 da

NBR 6123), o edifício em questão se enquadra no grupo 2 (Edificação para comércio), portanto $S_3 = 1,0$.

Valores mínimos do fator estatístico S_3

Grupo	Descrição	S_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Fonte: Tabela 3 da NBR 6123

- Pressão Dinâmica do Vento

Determinada a velocidade característica do vento se determina a pressão dinâmica do vento (q), através da expressão:

$$q = 0,613 \cdot V_k^2$$

$$q = 0,613 \cdot$$

$$41,61^2$$

$$q = 1,08 \text{ KN/m}^2$$

- Coeficientes de pressão externa C_{pe}

Para determinar os coeficientes de pressão externa das paredes, devem-se seguir as especificações da NBR 6123.


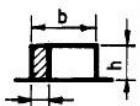
Sendo: $a = 27 \text{ m}$ $b = 20 \text{ m}$ $h = 8,37 \text{ m}$

$$\frac{a}{b} = \frac{27}{20} = 1,35 \quad \frac{h}{b} = \frac{8,37}{20} = 0,42$$

Determinados os parâmetros acima, pode-se obter os C_{pe} (Coeficientes de Pressão Externa) das paredes conforme tabela 4 da ABNT NBR 6123.

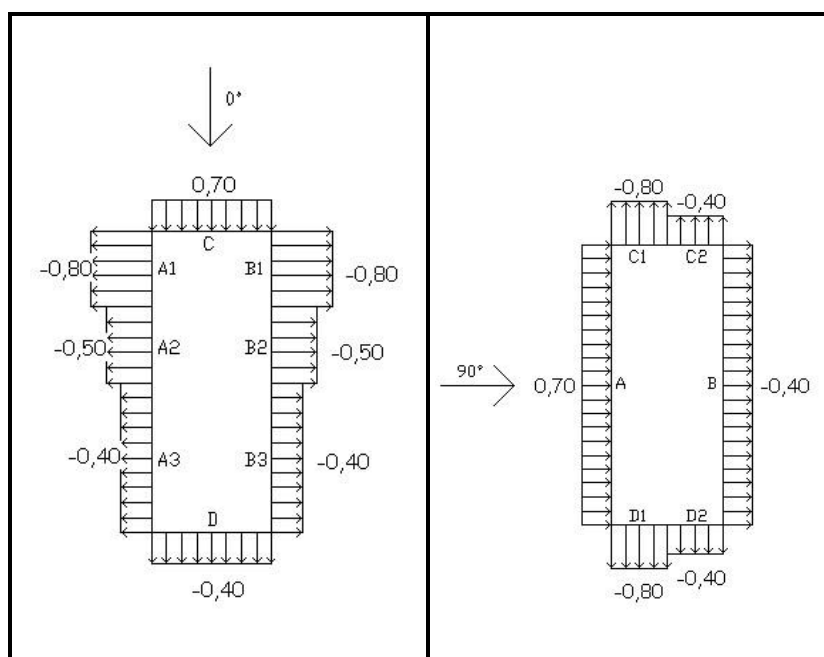
Como, $\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$ e $1 \leq \frac{a}{b} \leq 3/2$, então têm-se os C_{pe} abaixo:

Determinação do C_{pe} das paredes

Altura relativa	Valores de C _{pe} para								c _{pe} médio 
	α = 0°				α = 90°				
	A ₁ e B ₁	A ₂ e B ₂	C	D	A	B	C ₁ e D ₁	C ₂ e D ₂	
 $1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,8	-0,5	+0,7	-0,4	+0,7	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9
$0,2 b$ ou h (o menor dos dois) $\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$ $2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,8	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,0

Fonte: Tabela 4 da NBR6123.

Determinação dos coeficientes de pressão externa do vento 0° e 90°



- Dimensões dos vãos de atuação do CPe

a) Para ventos a 0°

A_1 e B_1 são iguais ao maior dos valores obtidos através das relações:

$$b / 3 = 20 / 3 = 6,67 \text{ m}$$

$$a / 4 = 27 / 4 = 6,75 \text{ m}$$

Porém, deve ser menor que $2 \times h$, valor assumido neste caso, pois:

$$2 \times 10,37 = 20,74 \text{ m}$$

$$A_1 \text{ e } B_1 = 6,75 \text{ m}$$

A_2 e B_2 :

$$A_2 \text{ e } B_2 = b - (A_1 + A_3) = 27 - (6,75 + 13,5)$$

$$A_2 \text{ e } B_2 = 6,75 \text{ m}$$

A_3 e B_3 :

$$A_3 \text{ e } B_3 = a / 2 = 27 / 2$$

$$A_3 \text{ e } B_3 = 13,5 \text{ m}$$

C e D :

$$C \text{ e } D = b$$

$$C \text{ e } D = 20 \text{ m}$$

b) Para ventos a 90°

A e B :

$$A \text{ e } B = a$$

$$A \text{ e } B = 27 \text{ m}$$

C_1 e D_1 :

C_1 e D_1 são iguais ao menor valor obtido entre as relações:

$$2 \times h = 20,74 \text{ m} \quad b / 2 = 20 / 2 = 10 \text{ m}$$

$$C_1 \text{ e } D_1 = 10 \text{ m}$$

C_2 e D_2 :

$$C_2 \text{ e } D_2 = b - C_1 = 20 - 10$$

$$C_2 \text{ e } D_2 = 10 \text{ m}$$

- Determinação dos coeficientes de pressão externa para o telhado
- Coeficientes de pressão externa C_{pe}

Como se trata de um telhado de duas águas, simétrico e de planta retangular, a determinação dos coeficientes de pressão e forma externos da cobertura do galpão é obtida em função da relação:

$$\frac{a}{b} = \frac{27}{20} = 1,35$$

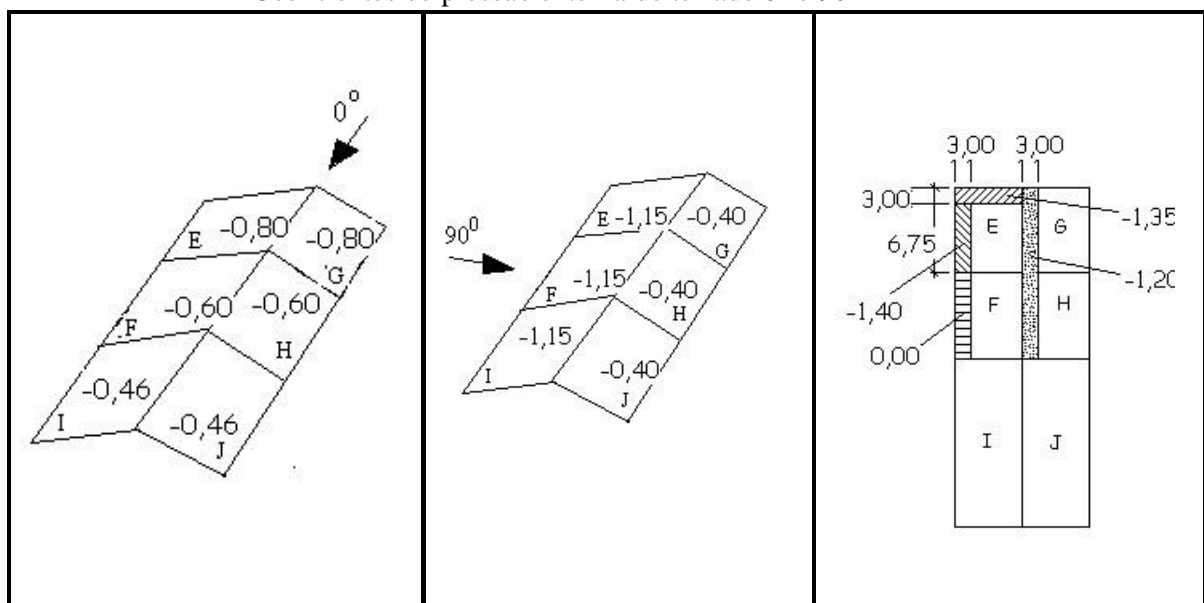
Com o resultado da mesma, consulta-se a tabela 5 da ABNT NBR 6123, obtendo-se os valores destacados na figura abaixo.

Coeficiente de pressão externa do telhado 0° e 90°

Altura relativa	θ	Valores de C _e para				c _{pe} médio			
		α = 90° (A)		α = 0°					
		EF	GH	EG	FH				
	0°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	10°	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4	-1,2	-1,2
	15°	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,2		-1,2
	20°	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1,0			-1,2
	30°	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8			-1,1
	45°	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6				-1,1
	60°	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6				-1,1

Fonte: Tabela 5 NBR6123.

Coeficientes de pressão externa do telhado 0° e 90°



- Dimensões dos vãos de atuação do C_{pe}

Na determinação das dimensões dos vãos onde cada coeficiente irá agir, utilizam-se os mesmos resultados encontrados para o cálculo do C_{pe} para as paredes.

No caso da dimensão y, largura das faixas de C_{pe} médios, é obtida através do menor valor obtido entre as seguintes equações:

$$y = h$$

$$y = 8,37\text{m}$$

$$y = 0,15 \cdot b$$

$$y = 0,15 \cdot 20$$

$$y = 3,0\text{m}$$

- Determinação dos coeficientes de pressão interna
- Área das aberturas

Conforme aberturas descritas, se considerou que durante o expediente haverá sempre a porta de entrada e o depósito abertos. Fora de expediente, ambas estarão fechadas. As venezianas estarão sempre abertas e com 50% de consideração de permeabilidade. Sendo assim, tem-se os seguintes CPis para a edificação:

a) Para ventos a 0°

A_1 e $B_1 = 6,75 \times 1,0 = 6,75 \text{ m}^2$ cada lado x 50% permeabilidade = 3,38 m² de abertura.

A_2 e $B_2 = 6,75 \times 1,0 = 6,75 \text{ m}^2$ cada lado x 50% permeabilidade = 3,38 m² de abertura.

$A_3 = 13,5 \times 1,0 = 13,5 \text{ m}^2$ x 50% permeabilidade = 6,75 m² de abertura + Portão do depósito com $3,0 \times 5,0 = 15 \text{ m}^2$, totalizando 21,75 m².

$B_3 = 13,5 \times 1,0 = 13,5 \text{ m}^2$ x 50% permeabilidade = 6,75 m² de abertura.

$C = 3 \times 2,5 \times 1$ porta = 7,5 m² D = sem abertura.

b) Para ventos a 90°

$A = 27 \times 1,0 = 27,0 \text{ m}^2$ cada lado x 50% permeabilidade = 13,5 m² + Portão de $3 \times 5 = 15 \text{ m}^2$, totalizando 28,5 m² de abertura.

$B = 27 \times 1,0 = 27,0 \text{ m}^2$ cada lado x 50% permeabilidade = 13,5 m² de abertura.

C_1 e $D_1 = 1,5 \times 2,5 = 3,75 \text{ m}^2$

C_2 e $D_2 = 1,5 \times 2,5 = 3,75 \text{ m}^2$

- C_{pi}

O valor de C_{pi} foi calculado conforme ABNT NBR 6123.

Para realizar esta análise foi utilizado o software Excel. Com base nos resultados obtidos e optando pela segurança, a melhor opção considerada foi de utilizar os valores mais nocivos de C_{pi}.

Abaixo, tabelas com resultados empregados mais nocivos de C_{pi} para sucção e sobrepressão.

- Para ventos a 0°

Vento 0°			
Aberto			
Local	Área (m2)	Ce	Ci =
A1 e B1	3,38	-0,8	-2,254
A2 e B2	3,38	-0,5	-1,290
A3 e B3	21,75	-0,39	-4,127
C	7,50	0,7	7,700
D	0,00	-0,4	0,000

S-> 0,030 OK

Vento 0°			
Fechado			
Local	Área (m2)	Ce	Ci =
A1 e B1	3,38	-0,8	-1,873
A2 e B2	3,38	-0,5	-0,302
A3 e B3	6,75	-0,39	2,156
C	0,00	0,7	0,000
D	0,00	-0,4	0,000

S-> -0,019 OK

- Para ventos a 90°

Vento 90°			
Aberto			
Local	Área (m2)	Ce	Ci =
A	28,50	0,7	18,271
B	13,50	-0,4	-11,206
C1 e D1	3,75	-0,8	-3,913
C2 e D2	3,75	-0,4	-3,113

S-> 0,039 OK

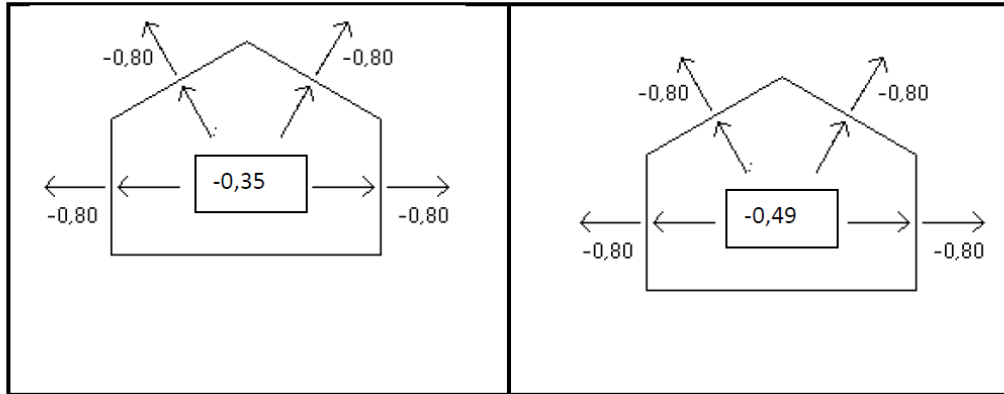
Vento 90°			
Fechado			
Local	Área (m2)	Ce	Ci =
A	13,50	0,7	10,012
B	13,50	-0,4	-10,012
C1 e D1	0,00	-0,8	0,000
C2 e D2	0,00	-0,4	0,000

S-> 0,000 OK

- Combinação dos coeficientes de pressão

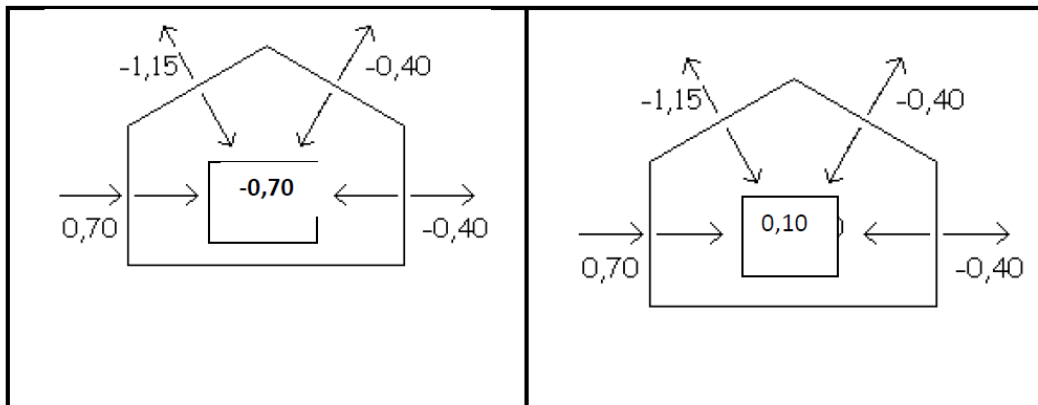
Vento 0° - $C_{pi} = -0,35$ e $-0,49$

Combinação dos coeficientes de pressão com o vento 0°



Vento 90° - $C_{pi} = -0,70$ e $0,10$

Combinação dos coeficientes de pressão com o vento 90°



Os esforços resultantes são obtidos através da equação:

$$F = (CA) * q * l$$

Onde: CA - coeficiente aerodinâmico ($C_{pe} - C_{pi}$)

q - pressão dinâmica do vento

l - espaçamento entre pórticos

Os resultados são apresentados a seguir:

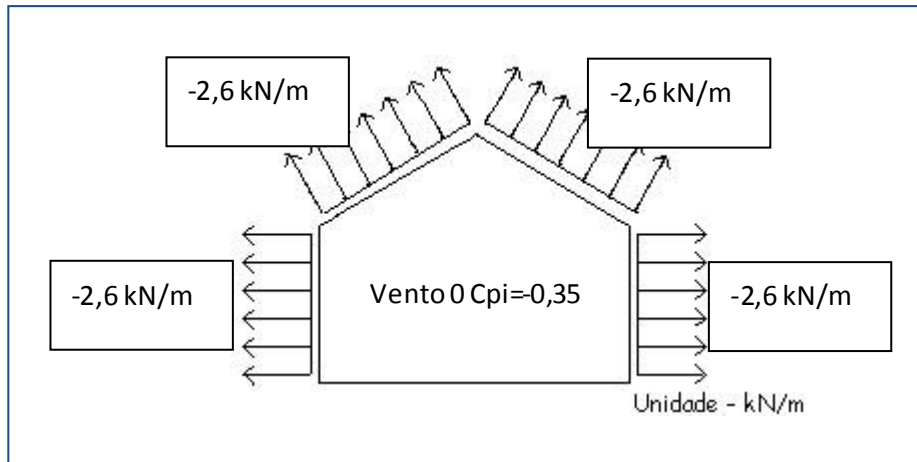
Resultantes máximas de vento

Vento	Cpi	Cpe	Cpe - Cpi	q(kN/m ²)	L (m)	(Cpe-Cpi)*q*L (kN/m)	Posição
0°	-0,35	-0,80	-0,45	1,08	5,35	-2,60	Parede
		-0,80	-0,45	1,08	5,35	-2,60	Telhado
		-0,80	-0,45	1,08	5,35	-2,60	Telhado
		-0,80	-0,45	1,08	5,35	-2,60	Parede
	-0,49	-0,80	-0,31	1,08	5,35	-1,79	Parede
		-0,80	-0,31	1,08	5,35	-1,79	Telhado
		-0,80	-0,31	1,08	5,35	-1,79	Telhado
		-0,80	-0,31	1,08	5,35	-1,79	Parede
90°	0,29	0,70	0,41	1,08	5,35	2,37	Parede
		-1,15	-1,44	1,08	5,35	-8,32	Telhado
		-0,40	-0,69	1,08	5,35	-3,99	Telhado
		-0,40	-0,69	1,08	5,35	-3,99	Parede
	0,15	0,70	0,55	1,08	5,35	3,18	Parede
		-1,15	-1,30	1,08	5,35	-7,51	Telhado
		-0,40	-0,55	1,08	5,35	-3,18	Telhado
		-0,40	-0,55	1,08	5,35	-3,18	Parede

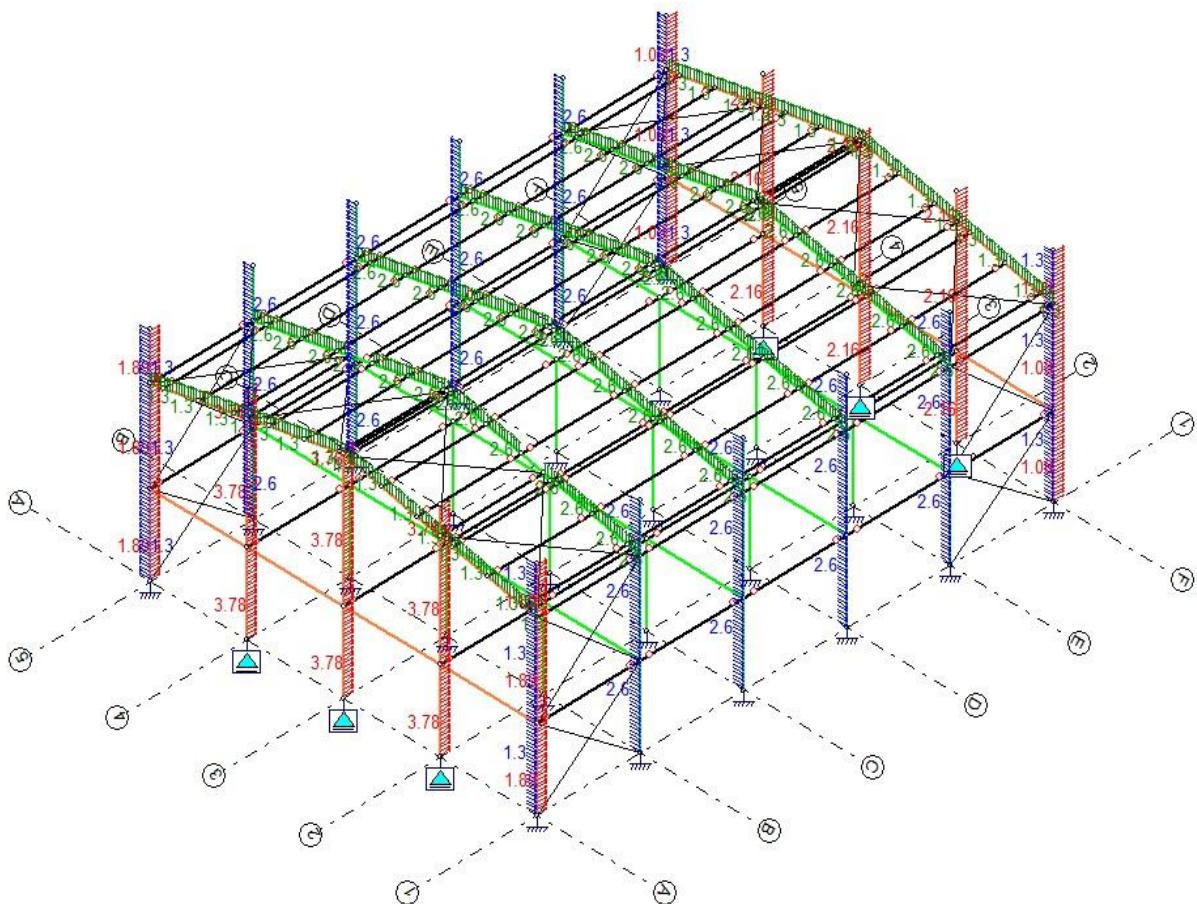
Conforme pode ser verificado a situação de vento à 0° com Cpi = -0,49 pode ser desprezada em função das ações terem o mesmo sentido, porém menos intensidade do que a situação de vento 0° com Cpi = -0,35.

Dessa forma devem-se levar em conta as seguintes hipóteses de carregamento devido ao vento:

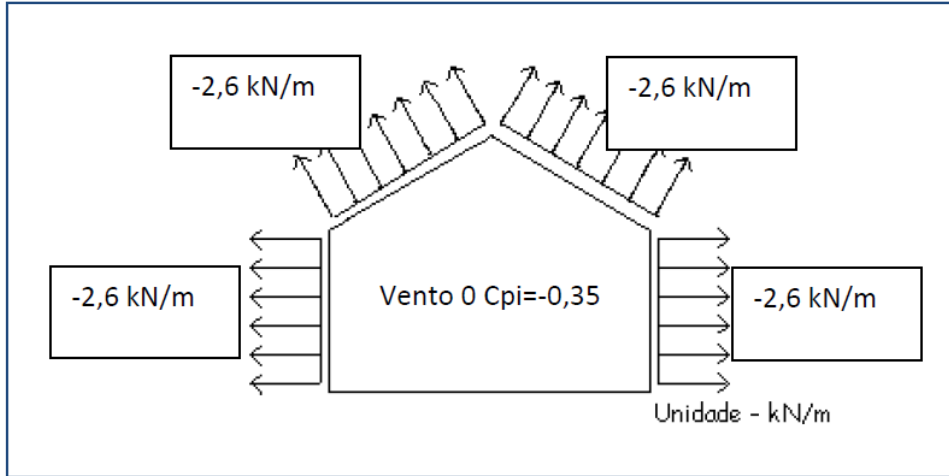
Esforços resultantes Fw1k



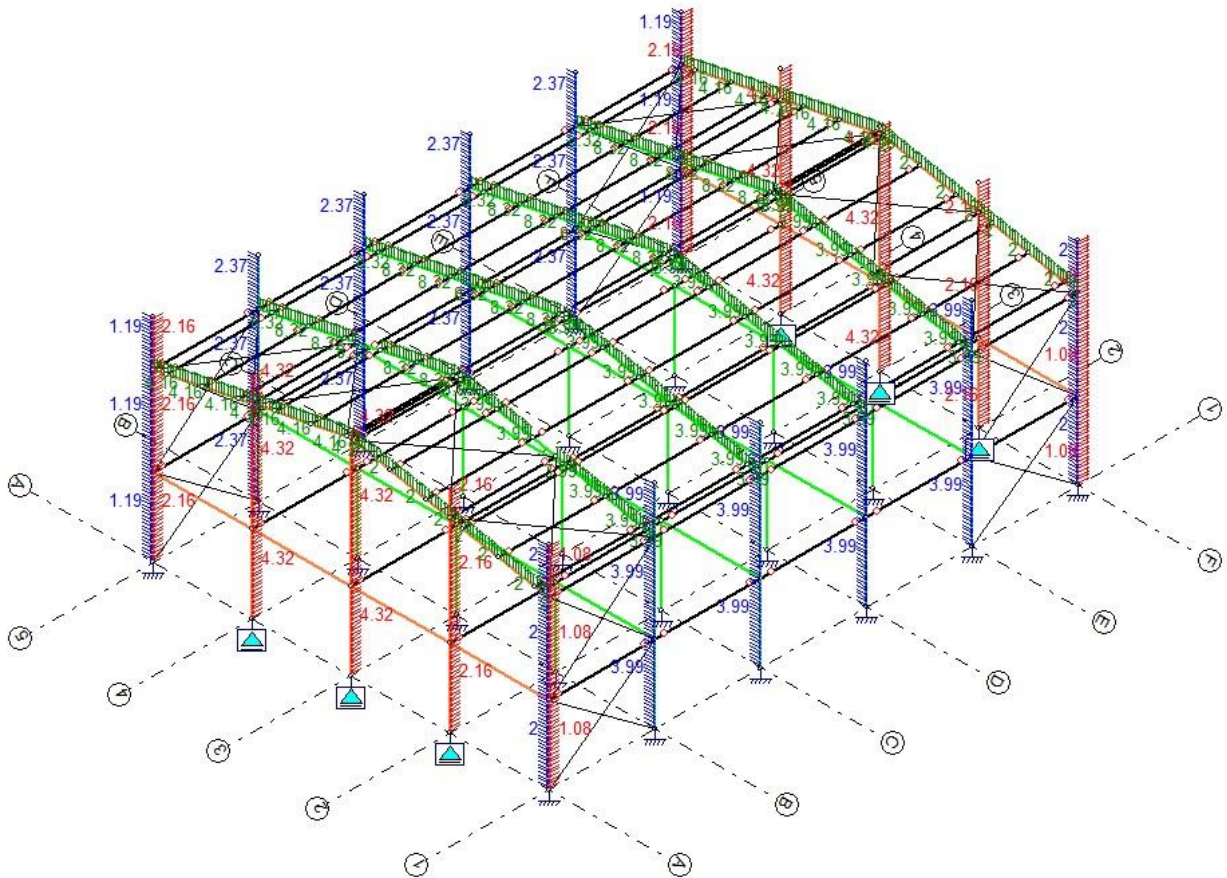
Carregamento do Vento 0°



Esforços resultantes Fw2k



Carregamento do vento 90°



5 COMBINAÇÕES DE CÁLCULO

- Combinações estados limites últimos

Foram consideradas as seguintes combinações para carga, conforme norma brasileira ABNT NBR8800:

- Combinações normais

$$\sum_{i=1}^m (\gamma_{Gi} \cdot F_{Gi}) + \gamma_{Q1} \cdot F_{Q1}$$

Onde:

F_{Gi} : Ações permanentes

F_{Q1} : Ação variável (sobrecarga ou vento)

γ_g : Coeficiente de ponderação das ações permanentes

γ_q : Coeficiente de ponderação das ações variáveis

Tabela 1: Combinações dimensionantes para vigas de cobertura e terças.

	Permanentes (γ_g)	Sobrecarga (γ_q)	Vento (γ_q)
Favorável	1.0	0	1.4
Desfavorável	1.25	1.5	0

6 COMBINAÇÕES ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO

E.L.S. para vigas de cobertura:

Combinações frequentes de utilização para a flecha das vigas de cobertura

$$\sum_{i=1}^m F_{Gi} + \Psi_1 \cdot F_{Q1}$$

Onde:

F_{Gi} : Ações permanentes

F_{Q1} : Ação variável (sobrecarga ou vento)

Ψ_1 : Fator de ponderação

Deslocamentos máximos para vigas de cobertura: $L/250$

Tabela 2: Combinações estados limites de serviço para vigas de cobertura.

	Permanentes	Sobrecarga (Ψ_1)	Vento (Ψ_1)
Favorável	1	0	0,3
Desfavorável	1	0,7	0

E.L.S. para terças:

Deslocamentos máximos:

L/120: Deslocamento característico para vento sucção;

L/180: Deslocamento característico para ações no sentido gravitacional.

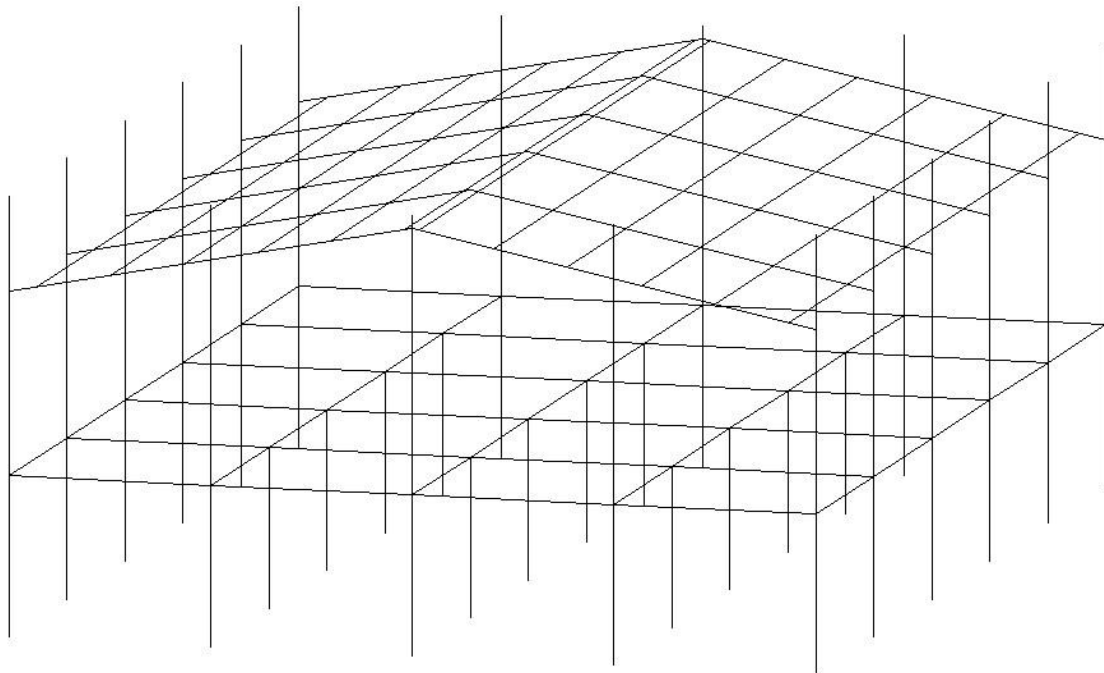
Tabela 3: Combinações estados limites de serviço para vigas de cobertura.

	Permanentes	Sobrecarga (Ψ_1)	Vento (Ψ_1)
Favorável	0	0	1
Desfavorável	1	1	0

7 MODELO COMPUTACIONAL

Foram realizados cálculos computacionais no software mCalc 3D.;

Imagem do modelo computacional:



- Força nocional

Segundo a NBR 8800: 2008 item 4.9.71 a análise tem que ser de segunda ordem, considerando as imperfeições geométricas, ou através da colocação de uma carga fictícia (nocional):

Nas estruturas de pequena deslocabilidade e média deslocabilidade, os efeitos das

imperfeições geométricas iniciais devem ser levados em conta diretamente na análise, por meio da consideração, em cada andar, de um deslocamento horizontal relativo entre os níveis inferior e superior (deslocamento interpavimento) de $h/333$, sendo h a altura do andar (distância entre eixos de vigas). Admite-se também que esses efeitos sejam levados em conta por meio da aplicação, em cada andar, de uma força horizontal equivalente, denominada aqui força nocional, igual a 0,3 % do valor das cargas gravitacionais de cálculo aplicadas em todos os pilares e outros elementos resistentes a cargas verticais, no andar considerado. Não é necessário somá-las às reações horizontais de apoio. Os efeitos das imperfeições geométricas iniciais devem ser considerados independentemente em duas direções ortogonais em planta da estrutura. Além disso, esses efeitos podem ser entendidos como um carregamento lateral mínimo da estrutura, exceto nas estruturas de pequena deslocabilidade.

Essa força apenas envolve as cargas gravitacionais. E foram determinadas conforme indicado abaixo:

$$F_n = 0,003 * (1,25 * F_{g1,k} + 1,50 * F_{g2,k} + 1,50 * F_{q1,k}) * L$$

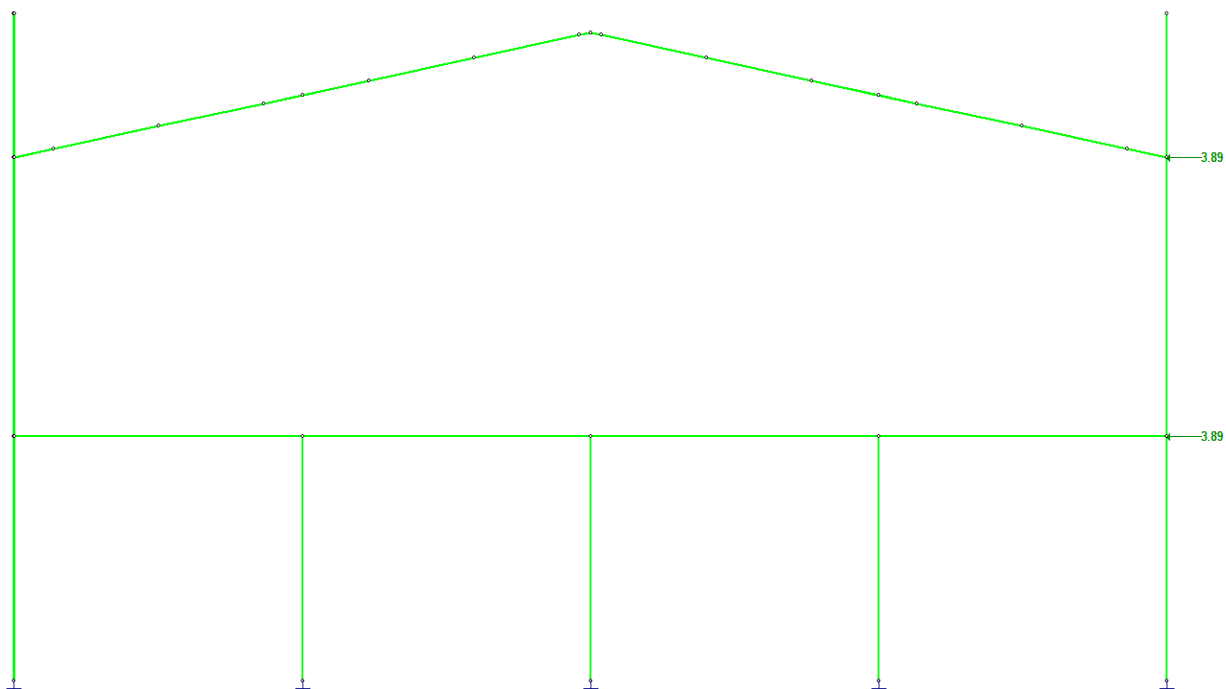
$$F_n = 0,003 * (1,25 * 0,40 + 1,50 * 0,25 + 1,50 * 0,22) * 20$$

$$F_n = 0,0723 \text{ kN/m}$$

$$F_{N1,k} = 0,0723 \text{ kN/m} * 5,35\text{m}$$

$$F_{N1,k} = 0,389 \text{ kN}$$

Carregamento da Força Nocional



8 CONCLUSÕES

Foram avaliados todos os elementos da estrutura, obtendo-se dimensionamentos compatíveis com as normas brasileiras de construção em aço.

TENSÕES MÁXIMAS- Como podemos observar pelos relatórios, todas as barras estão com um coeficiente de aproveitamento igual ou inferiores a 1.

DEFORMAÇÕES MÁXIMAS- Todas as deformações estão dentro do previsto pelas normas, conforme item 7.

REFERÊNCIAS

- [1] - Norma Brasileira ABNT NBR8800 - **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**, 2008.
- [2] – Norma Brasileira ABNT NBR14762 - **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**, 2010.
- [3] - Norma Brasileira ABNT NBR6123 - **Forças devidas ao vento em edificações**, 1988.
- [4] - Bellei, Ildony H. **Edifícios Industriais em Aço**. 5.ed; São Paulo: Pini, 2004.
- [5] - Alves Filho, A. **Elementos Finitos: A Base da Tecnologia CAE**. 5.ed; São Paulo: Editora Érica Ltda, 2010.
- [6] - Hibeler, R.C. **Resistência dos Materiais**. 5.ed; tradução Joaquim Pinheiro Nunes; São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.
- [7] - Chamberlain, Z. **Projeto e Cálculo de Estruturas de Aço**. 1.ed; Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2013.
- [8] – Carvalho, Paulo Roberto M. de. **Curso básico de perfis formados a frio**. 3.ed; Porto Alegre: [s.n.], 2014.

Nova Bassano, 21/11/14

Anexo 2 - Tabela de pesos específicos

Tabela 1 - Peso específico dos materiais de construção

Materiais		Peso específico aparente (kN/m ³)
1 Rochas	Arenito	26
	Basalto	30
	Gneiss	30
	Granito	28
	Mármore e calcáreo	28
2 Blocos artificiais	Blocos de argamassa	22
	Cimento amianto	20
	Lajotas cerâmicas	18
	Tijolos furados	13
	Tijolos maciços	18
	Tijolos sílico-calcáreos	20
3 Revestimentos e concretos	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cimento e areia	21
	Argamassa de gesso	12,5
	Concreto simples	24
	Concreto armado	25
4 Madeiras	Pinho, cedro	5
	Louro, imbuia, pau óleo	6,5
	Guajuvirá, guatambu, grápia	8
	Angico, cabriuva, ipê róseo	10
	Aço	78,5
	Alumínio e ligas	28
	Bronze	85

Fonte: NBR 6120:1980. Cargas para o cálculo de estruturas de edificação.