



**COMPARAÇÃO DE VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE GALPÕES
NA UTILIZAÇÃO DE COBERTURA PRÉ-FABRICADA EM
CONCRETO E COBERTURA METÁLICA PARA DIFERENTES
SITUAÇÕES DE VENTO**

CURITIBA
2017



LUCAS PERCEGONA PICHETH
WELLINTON PAULO BEDNARCHUK

**COMPARAÇÃO DE VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE GALPÕES
NA UTILIZAÇÃO DE COBERTURA PRÉ-FABRICADA EM
CONCRETO E COBERTURA METÁLICA PARA DIFERENTES
SITUAÇÕES DE VENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Sistemas Estruturais em Concreto, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Sistemas Estruturais em Concreto.

Orientador: Prof. Msc. Kirke A. Wrubel
Moreira

CURITIBA
2017

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto IDD, por oportunizar um importante degrau em busca da especialização profissional.

Ao Engenheiro Civil Professor Kirke A. Wrubel Moreira, pela colaboração na orientação deste trabalho, bem como pelo excelente trabalho como coordenador do curso.

Aos professores do curso de Pós Graduação em Sistemas Estruturais em Concreto do Instituto IDD pela formação e ensinamentos dados.

Agradecemos a Deus por ter-nos dado força, equilíbrio e saúde para a conclusão de mais uma etapa em busca do conhecimento.

FOLHA DE APROVAÇÃO

COMPARAÇÃO DE VIABILIDADE ENTRE GALPÕES NA UTILIZAÇÃO DE COBERTURA PRÉ-FABRICADA EM CONCRETO E COBERTURA METÁLICA PARA DIFERENTES SITUAÇÕES DE VENTO

Por

LUCAS PERCEGONA PICHETH
WELLINTON PAULO BEDNARCHUK

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM PATOLOGIA NAS
OBRAS CIVIS, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS
PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

Curitiba (PR) 12 de fevereiro de 2018.

Prof. Msc. Kirke A. Wrubel Moreira

Prof. Msc. Luis Henrique Olavo

Prof. Msc. Cristofer Scremin

RESUMO

Com o avanço da tecnologia e a criação de softwares de modelos computacionais de estruturas, tornou-se possível e frequente a comparação de viabilidade de diferentes tipos de estruturas para uma mesma obra. Os resultados obtidos podem ser utilizados para gerar estimativas bastante realistas referente à resistência, estabilidade estrutural, quantitativos e custo-benefício em uma obra. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é comparar a viabilidade entre galpões com coberturas executadas em concreto pré-fabricado e galpões com coberturas em estrutura metálica para diferentes situações de vento, sendo consideradas para o estudo as velocidades básicas de 0, 30, 42 e 54 m/s. Os dimensionamentos foram realizados nos softwares Metálicas 3D, Pré-Moldar, Pcalc e Oblíqua. Com os resultados obtidos foi possível analisar o comportamento das estruturas em relação à ação do vento, visando economia no orçamento final da obra.

Palavras chave: Pré-fabricado, metálica, custo, vento, análise estrutural.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Exemplo de ligação isostática (MELO, 2007)	23
Figura 2. Exemplo de ligação rotulada (MELO, 2007)	24
Figura 3. Exemplo de ligação semirrígida (MELO, 2007)	25
Figura 4. Exemplo de ligação engastada (MELO, 2007)	26
Figura 5. Exemplo de ligação viga-pilar do pórtico (SANTOS, 2010)	26
Figura 6. Ligação viga-viga no pórtico (SANTOS, 2010).....	27
Figura 7. Comportamento momento x rotação (PFEIL, 2009)	30
Figura 8. a) ligação rígida, b) ligação rotulada. (PFEIL, 2009).....	30
Figura 9. Exemplos de ligações rígidas (PFEIL, 2009)	31
Figura 10. Exemplos de ligações flexíveis (PFEIL, 2009)	32
Figura 11. Ilustração parafuso (PFEIL, 2009)	33
Figura 12. Representação de soldas filete (VALENCIANI, 1997)	34
Figura 13. Representação de soldas em chanfro (VALENCIANI, 1997).....	35
Figura 14. Solda tampão (SALMON & JOHNSON,1997)	36
Figura 15. Perfis metálicos (VALENCIANI, 1997)	36
Figura 16. Perfis para contraventamento (VALENCIANI, 1997).....	37
Figura 17. Treliças com banzos paralelos (VALENCIANI, 1997)	38
Figura 18. Treliças com banzos inclinados (VALENCIANI, 1997)	38
Figura 19. Isopletras da velocidade básica (NBR 6123, 1988).....	40
Figura 20. Sistema portante principal (PFEIL, 2009).....	41
Figura 21. Forças atuando nas terças (PFEIL, 2009).....	41
Figura 22. Planta de locação dos pilares. (AUTORES).....	43
Figura 23. Vista em corte para galpão pré-moldado. (AUTORES)....	44
Figura 24. Vista em corte para cobertura metálica. (AUTORES)	44
Figura 25. 3D ilustrativo para pré-moldados. (AUTORES)	45
Figura 26. Modelagem dos pilares	48

Figura 27. Modelagem dos braços	49
Figura 28. Modelagem das terças	49
Figura 29. Estrutura modelada no Pré-Moldar	50
Figura 30. Verificação das cargas nas terças e nos pilares	51
Figura 31. Janela de cálculo do Pórtico espacial	52
Figura 32. Dimensionamento do pilar com maior solicitação	52
Figura 33. Dimensionamento do braço de cobertura seção “T”	54
Figura 34. Dimensionamento da terça de cobertura seção em “L”	54
Figura 35. Janela de exportação do gerador de pórticos	56
Figura 36. Obra importada do gerador de pórticos	57
Figura 37. Valor das ações na cobertura – vento 42 m/s	58
Figura 38. Lançamento das cargas convertidas	58
Figura 39. Cargas convertidas lançadas nas terças e pilares.....	59
Figura 40. Software Metálicas 3D em processamento.....	59
Figura 41. Entrada da geometria do pilar.....	60
Figura 42. Entrada dos materiais.....	61
Figura 43. Entrada de dados da armação	61
Figura 44. Entrada dos esforços proveniente do vento de 42 m/s	62
Figura 45. Resultados e diagramas para vento 42 m/s.....	63
Figura 46. Diagrama de interação N, Mx para vento de 42 m/s	64
Figura 47. Diagrama de interação N, My para vento de 42 m/s	64
Figura 48. Deformação do pilar para vento de 42 m/s.....	65
Figura 49. Tensão nos pilares de vento 42 m/s	65
Figura 50. Valor das ações na cobertura - vento a 0 m/s	67
Figura 51. Resultados e diagramas para vento 0 m/s.....	68
Figura 52. Valor das ações na cobertura - vento a 30 m/s	70
Figura 53. Resultados e diagramas para vento 30 m/s.....	71
Figura 54. Valor das ações na cobertura - vento a 54 m/s	72
Figura 55. Resultados e diagramas para vento 54 m/s.....	73
Figura 56. Resumo do galpão pré-moldado - 42 m/s.....	74

Figura 57. Resumo do galpão com cobertura metálica - 42 m/s.....	75
Figura 58. Resumo do galpão com cobertura pré-moldada - 0 m/s	76
Figura 59. Resumo do galpão com cobertura metálica - 0 m/s.....	77
Figura 60. Resumo do galpão pré-moldado - 30 m/s.....	78
Figura 61. Resumo do galpão com cobertura metálica - 30 m/s.....	79
Figura 62. Resumo do galpão pré-moldado - 54 m/s.....	80
Figura 63. Resumo do galpão com cobertura metálica - 54 m/s.....	81
Figura 64. Gráfico de custo para todos tipos de obra	82
Figura 65. Gráfico de custo para os pilares de todas obras.....	84
Figura 66. Gráfico de custo para as coberturas de todas obras.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Constantes físicas do aço (PFEIL, 2009).....	29
Tabela 2. Cargas para galpão com vento a 42 m/s.....	51
Tabela 3. Cargas para galpão com vento a 0 m/s.....	66
Tabela 4. Cargas para galpão com vento de 30 m/s.....	69
Tabela 5. Cargas para galpão com vento de 54 m/s.....	69
Tabela 6. Comparação entre galpões	82
Tabela 7. Comparação entre pilares	83
Tabela 8. Comparação entre coberturas	84

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	13
1.2. OBJETIVOS.....	13
1.2.1. Objetivo Geral	13
1.2.2. Objetivos Específicos	14
1.3. HIPÓTESE	14
1.4. JUSTIFICATIVAS	14
1.4.1. Tecnológicas.....	14
1.4.2. Econômicas	15
1.4.3. Sociais	15
1.4.4. Ecológicas	15
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	16
1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. PRÉ-FABRICADOS EM CONCRETO	18
2.1.1. Histórico do pré-fabricado	18
2.1.2. Vantagens e desvantagens dos pré-moldados	20
2.1.3. Elementos pré-fabricados.....	21
2.1.4. Ligações.....	21
2.2. COBERTURAS METÁLICAS	27
2.2.1. Histórico do aço	28
2.2.2. Propriedades mecânicas	28
2.2.3. Ligações metálicas	29
2.2.4. Ligação por conectores.....	32
2.2.5. Ligação por Soldagem.....	33
2.2.6. Tipos de soldas	34
2.2.7. Tipos de perfis utilizados na construção metálica.....	36
2.2.8. Cobertura em aço	37
2.3. EFEITOS DO VENTO NAS ESTRUTURAS.....	38

2.3.1. Vento atuando em galpões	40
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL	42
3.1. DESENVOLVIMENTO DA PRIMEIRA ANÁLISE	47
3.1.1. Dimensionamento do galpão pré-moldado para vento 42 m/s...	47
3.1.2. Dimensionamento do galpão com cobertura metálica para vento de 42 m/s	55
3.2. DESENVOLVIMENTO DA SEGUNDA ANÁLISE	65
3.2.1. Dimensionamento do galpão pré-moldado para vento 0 m/s.....	66
3.2.2. Dimensionamento do galpão com cobertura metálica para vento de 0 m/s	66
3.3. TERCEIRA ANÁLISE – VENTOS DE 30m/s E 54m/s	68
3.3.1. Dimensionamento do galpão pré-moldado	69
3.3.2. Dimensionamento da cobertura metálica para	70
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	74
4.1. RESULTADOS DA PRIMEIRA ANÁLISE.....	74
4.2. RESULTADOS DA SEGUNDA ANÁLISE.....	75
4.3. RESULTADOS DA TERCEIRA ANÁLISE	78
4.3.1. Análise dos resultados para o vento de 30 m/s	78
4.3.2. Análise dos resultados para o vento de 54 m/s	80
4.4. COMPARAÇÃO ENTRE AS AÇÕES DE VENTO	81
4.4.1. Análise comparativa do galpão completo	82
4.4.2. Análise comparativa entre os pilares.....	83
4.4.3. Análise comparativa entre as coberturas.....	84
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	86
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	87
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88

1. INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil percebe-se grande aceitação no uso de estruturas pré-moldadas em obras relacionadas aos setores como comércio e indústria. Isso se dá principalmente pela necessidade de execução dessas obras em prazos cada vez mais curtos, fazendo com que as estruturas produzidas fora do canteiro de obra fiquem mais competitivas. Porém existem muitos fatores que interferem na escolha da melhor solução estrutural dessas obras, um deles é quanto ao uso dos diferentes materiais ofertados no mercado.

As edificações pré-moldadas do tipo galpão atirantado fazem parte de uma parcela bem significativa das construções pré-fabricadas que são executadas no Brasil. Seu uso é na maioria das vezes destinado a edificações de fins industriais, comerciais e agrícolas. Seu custo em média apresenta-se inferior ao uso de estruturas metálicas, porém pode depender de alguns fatores importantes, os quais serão estudados neste trabalho.

Estruturas de aço por sua vez são bastante utilizadas por proporcionarem construções mais limpas, rápidas e que geram a mínima interferência no seu entorno. Entre as suas vantagens, perante estruturas em concreto, estão: estruturas mais leves, maior confiabilidade, limpeza da obra entre outras.

Galpões para uso comercial ou industrial podem ser compostos pelos dois sistemas estruturais descritos, com pórticos formados unicamente em concreto ou somente em aço. Porém existem casos em que as estruturas podem ser compostas pelos dois tipos de materiais atuando conjuntamente. Um exemplo da utilização dos sistemas em conjunto seria na fabricação da cobertura, a qual pode ser estruturada com vigas em concreto sobre pilares em concreto, ou treliças metálicas sobre pilares em concreto ou pilares metálicos.

Este trabalho constitui-se de um programa experimental e estuda os dois sistemas de estruturas, tendo como objetivo a comparação entre uma cobertura estruturada em concreto pré-fabricado com pórticos atirantados e outra com pórticos mistos, ou seja, com pilares em concreto e cobertura em treliças metálicas. Com este estudo espera-se identificar as possíveis diferenças de viabilidade econômica entre os dois sistemas adotados para o galpão, considerando a interferência que pode ser causada pela ação do vento na cobertura em si, bem como nos pilares de sustentação da mesma.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Qual tipo de galpão, com cobertura metálica ou pré-fabricada, tem melhor viabilidade econômica em diferentes situações de vento?

1.2. OBJETIVOS

A seguir serão mencionados o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa a ser desenvolvida.

1.2.1. Objetivo Geral

Comparar a viabilidade econômica entre galpões com coberturas executadas em concreto pré-fabricado e coberturas em estrutura metálica em diferentes situações de vento.

1.2.2. Objetivos Específicos

- a) Demonstrar o emprego dos diferentes softwares para cálculos estruturais utilizados na pesquisa
- b) Apresentar resumos dos quantitativos obtidos no levantamento de materiais
- c) Desenvolver gráficos para melhor observação dos resultados comparativos

1.3. HIPÓTESE

Considerando as interferências da ação do vento no custo de galpões, presume-se que existam diferenças significativas de custo-benefício entre os sistemas construtivos estudados.

1.4. JUSTIFICATIVAS

As justificativas para realização dessa pesquisa podem ser: tecnológicas, econômicas, sociais e ecológicas.

1.4.1. Tecnológicas

Justifica-se por demonstrar o emprego de softwares e sistemas para facilitar o levantamento de quantitativos e elaboração de orçamentos, bem como para o cálculo estrutural da obra estudada.

1.4.2. Econômicas

Esta pesquisa se justifica do ponto de vista econômico por apresentar dados comparativos com relação ao custo-benefício entre os dois sistemas mais utilizados em coberturas de galpões. Com estes dados comparados, pode-se fornecer aos projetistas algumas informações importantes para auxiliar na escolha do sistema que direcione para uma maior economia da estrutura.

1.4.3. Sociais

Como esta pesquisa tem o foco na análise de viabilidade econômica entre as coberturas estudadas, pode auxiliar na escolha da melhor solução para casos similares ao estudado. Com isso, consegue-se o benefício de obras melhor implantadas gerando economia, o que melhora a oferta de galpões para vários setores da sociedade.

1.4.4. Ecológicas

Sistemas construtivos industrializados tem maior controle de produção que sistemas com moldagem *in loco*, sendo que normalmente geram menor quantidade de resíduos produzidos, implicando com isso uma maior agressão ao meio ambiente. O aço é 100% reciclável, podendo ser mais interessante ecologicamente que o concreto, num possível reaproveitamento do aço utilizado na estrutura. Este trabalho pode auxiliar na melhor aplicabilidade de estruturas industrializadas, ou seja, na escolha entre aço e concreto, podendo trazer um

maior ganho em termos de competitividade frente a outros sistemas que geram maiores passivos ambientais.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho consiste em um programa experimental, tendo como foco o estudo comparativo entre a viabilidade de dois tipos de cobertura empregados em galpões para diferentes situações de vento. Para tanto, foram utilizados programas de cálculo estrutural específicos para concreto pré-moldado e estruturas metálicas, bem como programas adicionais para verificação e dimensionamento das peças. As duas coberturas foram dimensionadas para o mesmo galpão, em ambos os casos os pilares utilizados para análise são em concreto pré-fabricados.

Os dados obtidos no desenvolvimento do programa experimental podem servir como base para discussões e comparações entre os sistemas, embasando as considerações finais acerca da solução estrutural que melhor se adeque a cada situação.

1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos descritos a seguir.

No **Capítulo 1** é apresentado o problema de pesquisa, seus objetivos, as justificativas para o estudo e a metodologia adotada.

O **Capítulo 2** contém a revisão bibliográfica que embasa a elaboração do programa experimental para os dois sistemas de cobertura estudados.

O **Capítulo 3** demonstra o desenvolvimento do programa experimental, incluindo as particularidades consideradas nos sistemas propostos e nas situações analisadas.

O **Capítulo 4** apresenta e analisa os resultados, descrevendo as possíveis diferenças de viabilidade econômica entre os sistemas construtivos.

O **Capítulo 5** expõe as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PRÉ-FABRICADOS EM CONCRETO

Segundo a NBR 9062 (ABNT, 2017, P. 4) que fala sobre Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado, existe uma diferença técnica para os termos pré-moldado e pré-fabricado, onde define que “elemento pré-moldado é um elemento moldado previamente e fora do local de utilização definitiva na estrutura [...]”, já para o pré-fabricado a norma o define como sendo “elemento pré-moldado, executado industrialmente, em instalações permanentes de empresas destinadas para este fim [...]”.

Com a preocupação atual em sustentabilidade, o uso de pré-moldados ou pré-fabricados se faz justo por estar relacionado à forma de construir. Rapidez de execução, rígido controle de qualidade, coordenação modular e alto nível organizacional da produção são características desse sistema, que o torna uma opção para aumentar a racionalização no processo construtivo (BRUMATI, 2008).

2.1.1. Histórico do pré-fabricado

Segundo Vasconcelos (2002) não é possível precisar exatamente quando começou a pré-moldagem, o concreto armado nasceu utilizando-se a moldagem fora do local definitivo. Portanto, pode-se afirmar que a pré-moldagem começa com a invenção do concreto armado, e a concretagem *in loco* de estruturas surgiu depois.

De acordo com Serra *et al* (2005), a pré-fabricação de estruturas e edificações surgiu de maneira mais exponencial em períodos em que havia uma

grande demanda por construções rápidas e com baixo custo, na época do pós-guerra, nas regiões afetadas pelos conflitos, onde se teve a necessidade de reconstruir muitos edifícios habitacionais, industriais, hospitalares, escolares, entre outros.

Após a segunda guerra mundial, houve uma ampla demanda por construções em grande escala, principalmente na Europa, onde foram muito utilizados os sistemas pré-moldados, foi de fato nessa época que a industrialização da construção precisou ser aplicada (ORDONÉZ, 1974).

No Brasil a utilização do concreto pré-moldado começou em 1926, segundo Vasconcelos (2002), com a construção do Hipódromo da Gávia no Rio de Janeiro, obra em que foram utilizadas estacas de fundação produzidas nesse sistema pela construtora dinamarquesa Christiani-Nielsen que também utilizou outros elementos pré-fabricados naquela ocasião.

Já nas décadas de 70 e 80 houve um desestímulo à aplicação do pré-moldado no Brasil, segundo Serra *et al* (2005) aconteceram muitos casos de problemas ligados a esse sistema, um exemplo foi a demolição de conjuntos habitacionais por conta de deterioração funcional e da rejeição social.

Houve uma estagnação do uso desse sistema no Brasil, o qual praticamente deixou de existir na década de 80, voltando a ser utilizado na década seguinte com o desenvolvimento da cidade de São Paulo, onde começou a ser empregada a tecnologia de pré-fabricados em várias situações como nas edificações de empreendimentos na área de serviços, na construção de *shopping centers*, *flats* e hotéis, se valendo da maior velocidade que eram feitas as obras, possibilitando com isso maior rapidez nas vendas (SERRA *et al*, 2005)

2.1.2. Vantagens e desvantagens dos pré-moldados

Segundo Oliveira (2011), a adoção do sistema de pré-moldados torna o processo de produção acelerado, por diminuir a perda de tempo com montagem de formas para concretagem, a execução das armaduras lajes e a eliminação da cura do concreto, que é um dos gargalos da produção. Ainda existem outras vantagens citadas pelo autor, como a diminuição do desperdício de matérias primas, como o cimento e agregados, já que todo seu processo é industrializado, os traços e quantidades saem mais precisos, trazendo, inclusive, ganhos ecológicos por economizar recursos não renováveis. Essa ideia é complementada por Brumatti (2008), onde o autor afirma que a aplicação dos pré-fabricados nos processos construtivos aumenta a racionalização, reduzindo os desperdícios e aumentando a produtividade.

Oliveira (2011) faz referência à utilização dos pré-moldados como vantagem em relação a outros sistemas no que diz respeito redução dos custos referentes a salários e impostos, e que por sua velocidade de construção, o tempo de execução da estrutura acaba diminuindo, com isso também os valores gerados com funcionários e encargos.

Sistemas construtivos que utilizam pré-moldados se diferenciam do convencional por vários fatores, portanto, existem certas exigências quanto a utilização desse conceito. Pederiva Jr. (2009) cita algumas peculiaridades:

- Exige mão de obra especializada tanto na fabricação como na montagem;
- Exige grande integração entre os profissionais de: Arquitetura; Sistemas auxiliares elétricos, hidráulicos e mecânicos; Estrutura; Gerente de Fabricação; Gerente de Montagem.
- Exige especial atenção do engenheiro estrutural com relação aos aspectos de: estabilidade global das estruturas sob a ação de cargas verticais e horizontais; detalhes de ligação dos elementos; esforços durante a desenforma,

estocagem, transporte e montagem dos elementos; adequação das peças à disponibilidade dos equipamentos de fabricação, transporte e lançamento das mesmas.

2.1.3. Elementos pré-fabricados

Assim como em construções convencionais, nas estruturas pré-fabricadas são necessárias peças para compor o esqueleto da obra. Segundo Acker (2002) o sistema aporticado consiste principalmente em elementos lineares como pilares e vigas de fechamento, para compor a cobertura podem ser utilizadas vigas inclinadas com diversos tipos de seções e ainda elementos como terças pré-fabricadas em concreto que darão sustentação direta às telhas.

A introdução de elementos pré-fabricados em obras da construção civil tem o objetivo melhorar a racionalização na utilização de materiais, objetivando reduzir custos e diminuir desperdícios. A racionalização com qualidade é um ponto chave para indústria brasileira se tornar mais competitiva frente ao mercado mundial mais globalizado (BRUMATI, 2008).

2.1.4. Ligações

Segundo Acker (2002), a função das ligações é garantir a união estrutural entre as peças, tendo o objetivo de resistir a todos os esforços solicitantes com o sistema obtido, esforços estes que podem ser oriundos não somente das cargas externas, mas também das ações indiretas provenientes de retração, fluência, movimentação térmica, ação do fogo, etc.

Do ponto de vista do comportamento estrutural, a presença das ligações é o que diferencia basicamente uma estrutura de concreto pré-moldado de uma estrutura convencional moldada no local. Desta forma, o desempenho do sistema estrutural e o êxito nas suas

aplicações estão relacionados com o desempenho das suas ligações (PEDERIVA JR., 2009, P. 25)

Melo (2007) chama a atenção para o bom emprego das ligações, onde vincula sua eficiência a um melhor desempenho estrutural. Entretanto seu custo e possíveis cuidados na execução também serão maiores, motivo pelo qual se faz necessário visar estabilidade e economia conjuntamente.

A ligação viga pilar pode apresentar comportamento perfeitamente rígido ou articulado, ou ainda comportamento intermediário denominado como ligação semirrígida. Para o caso de ligação semirrígida há transmissão parcial dos esforços solicitantes (ACKER, 2002).

2.1.4.1. Ligação isostática

As ligações isostáticas não transmitem momento fletor e esforços horizontais, devido a essa característica “[...] não ocorre o efeito pórtico na estrutura, pois as peças trabalham de forma isolada” (MELO, 2007, p. 42). Melo (2007) ainda complementa afirmando que para a ligação isostática funcionar, não pode haver grandes deslocamentos na estrutura, pois se o deslocamento for maior que a folga (tolerância de execução) haverá transmissão de esforços e o comportamento da estrutura será diferente do esperado. Sendo assim os espaços entre as peças não devem ser preenchidos, porém para o furo o preenchimento deve ser com argamassa comum.

Na figura 1 pode-se observar um exemplo de ligação isostática.

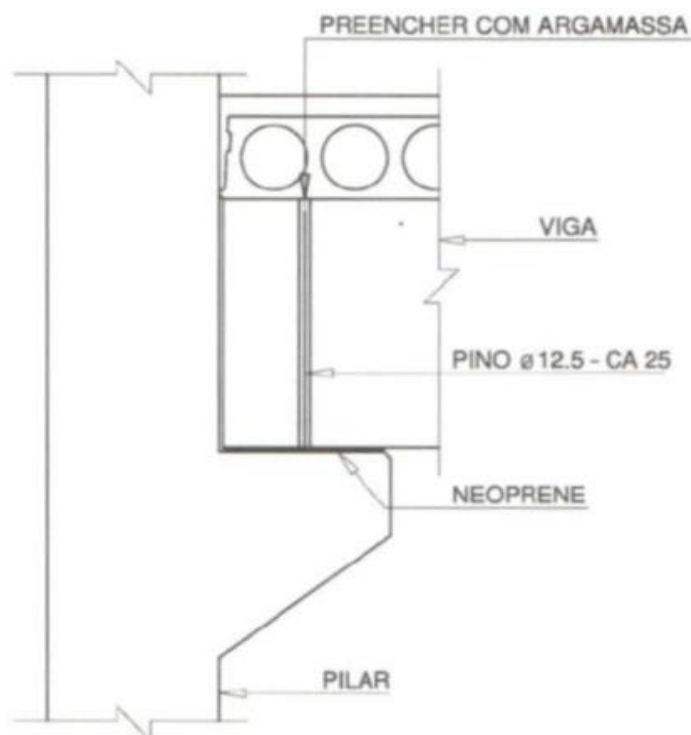


Figura 1. Exemplo de ligação isostática (MELO, 2007)

2.1.4.2. Ligação rotulada

As ligações rotuladas transferem além de esforços verticais também esforços horizontais, Melo (2007, p. 43) afirma que “Este tipo de ligação apresenta fator de restrição à rotação abaixo de 15% [...]”. A principal diferença entre a ligação isostática e a ligação rotulada, é que para essa os furos devem ser preenchidos com graute, garantindo que haja uma perfeita aderência entre o concreto da peça pré-fabricada e o graute (MELO, 2007).

Na figura 2 pode-se observar um exemplo de ligação rotulada.

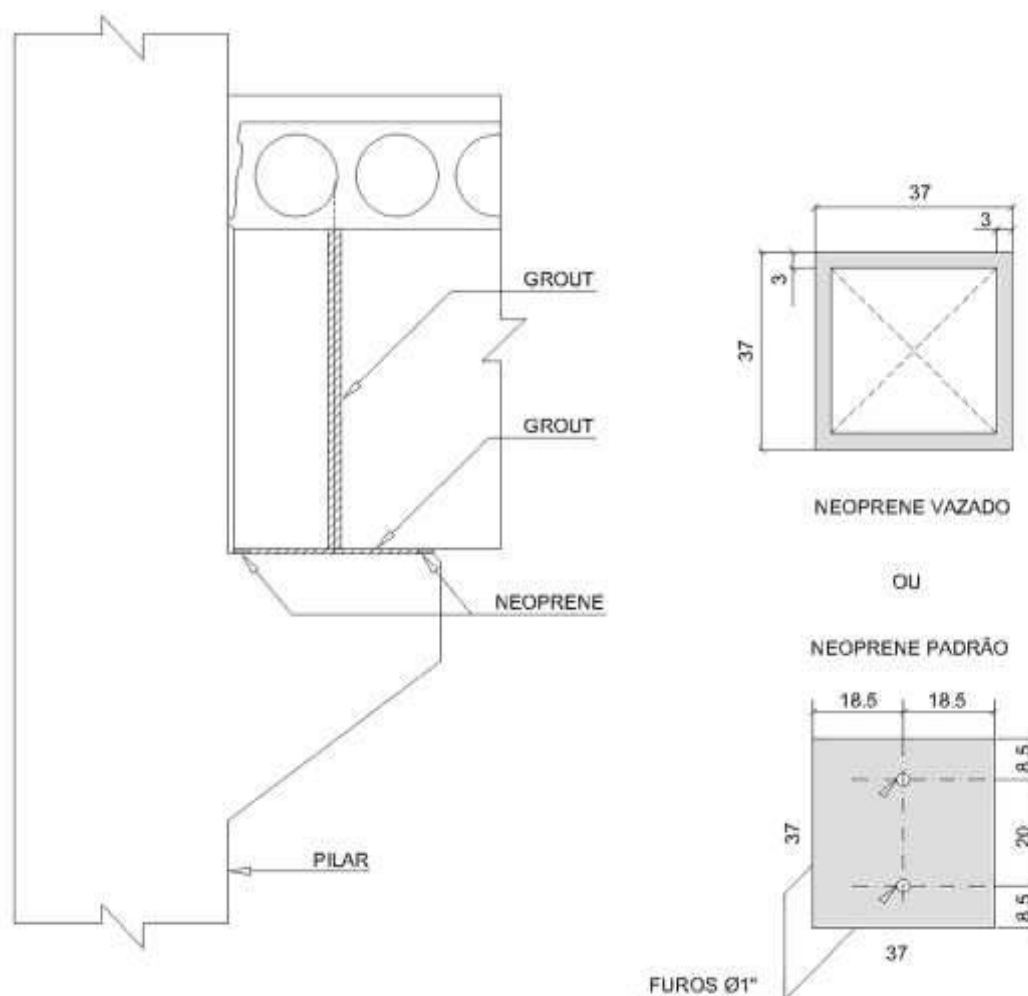


Figura 2. Exemplo de ligação rotulada (MELO, 2007)

2.1.4.3. Ligação semirrígida

Para Melo (2007) a ligação semirrígida resiste a uma parte do momento fletor de engastamento das peças, por isso é necessário ter uma resistência à rotação, para que possa surgir um binário de momento. Esse binário pode ser resistido por uma armadura superior e a compressão da região inferior da viga.

Um exemplo de ligação semirrígida pode ser observado na figura 3.

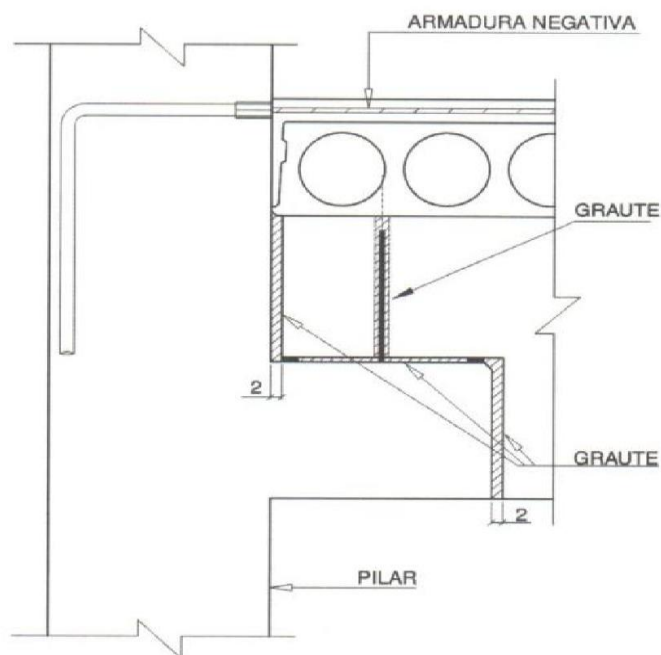


Figura 3. Exemplo de ligação semirrígida (MELO, 2007)

2.1.4.4. Ligação engastada

A ligação classificada como engastada apresenta fator de restrição à rotação maior que 85%. Neste caso, de acordo com Melo (2007, p. 53), “[...] a ligação pode ser considerada como igual à realizada no moldado *in-loco*”.

Esta ligação caracteriza-se pela concretagem do nó entre viga e pilar, para isso, devem ser deixados arranques nos pilares e vigas, ou furos nos pilares, para que após a montagem sejam coladas, com epóxi, barras de aço capazes de resistirem aos esforços de momento negativo (MELO, 2007).

Pode-se observar um exemplo de ligação engastada, representada na figura 4.

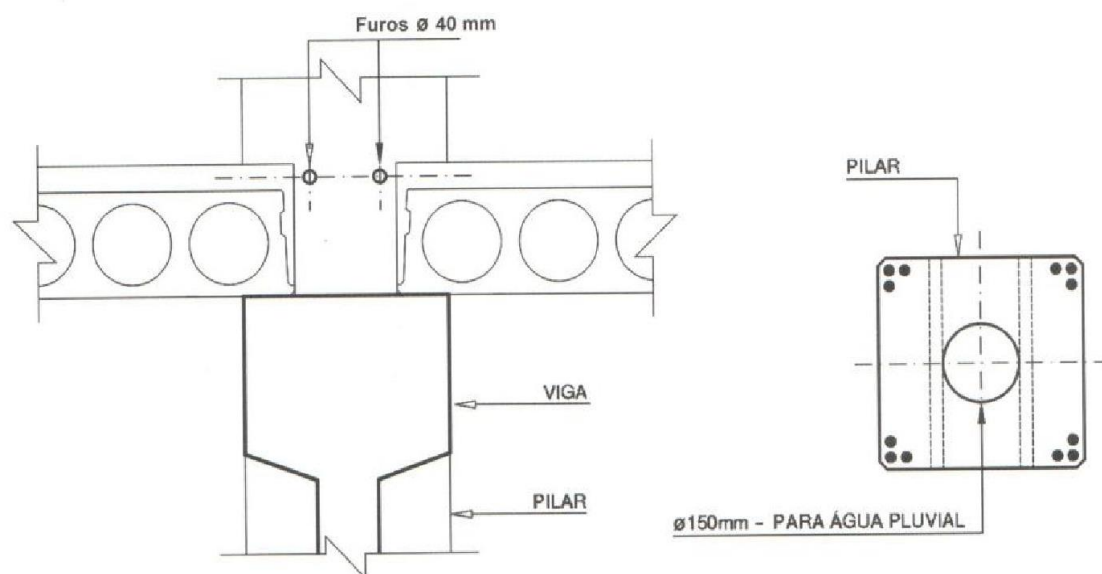


Figura 4. Exemplo de ligação engastada (MELO, 2007)

2.1.4.5. Ligação da viga de cobertura e pilar de pórtico

Na figura 5 pode-se observar um exemplo da ligação viga-pilar de galpão pré-fabricado (SANTOS, 2010).

a) Consolo inclinado; b) sistema passante; c) Consolo horizontal

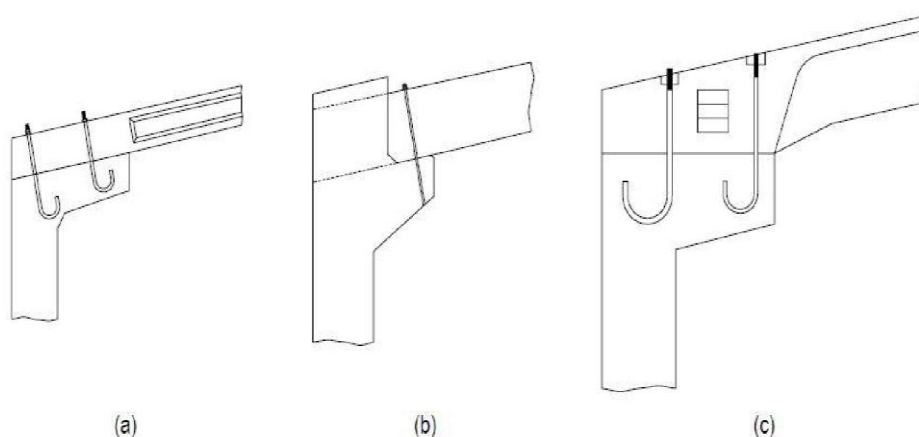


Figura 5. Exemplo de ligação viga-pilar do pórtico (SANTOS, 2010)

A ligação entre as duas vigas do pórtico principal é considerada como ligação rotulada, sendo importante garantir que após a montagem a ligação

apresente esta característica. Santos (2010) alerta que essa região é de intensa compressão deve ser verificada e armada, a fim de resistir aos esforços internos. Na figura 6 temos um exemplo de ligação viga-viga no pórtico de galpão pré-fabricado.

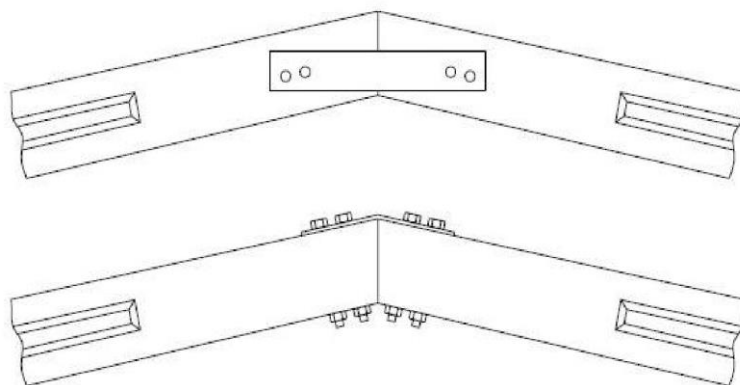


Figura 6. Ligação viga-viga no pórtico (SANTOS, 2010)

Segundo Acker (2002), quando se projeta com a intenção de permitir os movimentos horizontais na estrutura, este nicho não será preenchido com graute, mas sim com material betuminoso ou plástico, parafusado ao chumbador no topo da viga para fornecer estabilidade à ligação. Nos apoios dos consolos de concreto armado são utilizados aparelhos, conhecidos como almofadas de neoprene ou uma camada de argamassa, que terá a função de distribuir as tensões de contato na região do apoio.

2.2. COBERTURAS METÁLICAS

As estruturas metálicas são estruturas formadas pela conexão de peças metálicas entre si, esta pode ser realizada por meio de solda ou conectores. Cada peça que compõe a estrutura pode ter suas seções transversais limitadas em função da capacidade dos laminadores e podem ter comprimentos máximos de

acordo com a capacidade de transportes disponíveis. (CEHOP, 2002 *apud* PEDERIVA JR., 2009),

2.2.1. Histórico do aço

Segundo Faria (2008) a primeira obra importante em aço foi a ponte sobre o Serven em Coalbrookdale em 1779, na Inglaterra, com um vão de 30 metros. Em 1801 foi construído o primeiro edifício industrial, em Manchester na Inglaterra, e logo após estas datas começou a ampla utilização de estruturas metálicas. Somente na década de 50 as estruturas de aço tiveram impulso no Brasil, impulsionados pela criação da Companhia Siderúrgica Nacional, depois que a fábrica de estruturas metálicas foi inaugurada possibilitou o uso do aço em escalas maiores com menores custos. Com isso, grandes obras começaram a ser executadas, em especial o primeiro edifício com materiais e projetos produzidos totalmente no país, o Edifício Garagem América em São Paulo, em 1957. Na década de 80, o Brasil deixou de ser importador de aço e passou a exportar esse produto, sendo que está presente até hoje nos setores comerciais, industriais e habitacionais.

2.2.2. Propriedades mecânicas

Devido aos diferentes materiais incorporados à liga do aço, suas propriedades mecânicas variam muito, segundo Pfeil (2009), para a faixa normal de temperatura atmosférica as características do aço podem ser adotadas por padrão da tabela 1, a qual define as constantes físicas para uso em todas estruturas em aço estrutural.

CONSTANTE FÍSICA	VALOR
Módulo de elasticidade, E	200.000 MPa
Coeficiente de Poisson, ν	0.3
Coeficiente de dilatação térmica, β	$1,2 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
Massa específica, ρ	7.850 kg/m ³

Tabela 1. Constantes físicas do aço (PFEIL, 2009)

Para NBR 8800 (2008) os valores de constantes físicas são os mesmos citados por Pfeil (2009), incluindo-se ainda pela norma os valores de propriedades mecânicas utilizados para efeito de cálculos o módulo de elasticidade transversal $G=77.000 \text{ MPa}$.

2.2.3. Ligações metálicas

Alguns aspectos diferenciam as estruturas metálicas dos outros tipos de estruturas, um deles diz respeito às ligações entre as peças, parte essencial na composição do sistema estrutural. Para Pfeil (2009), os tipos de ligação em uma edificação metálica são:

- Ligações entre vigas;
- Ligações entre viga e coluna;
- Emenda de colunas;
- Emenda de vigas;
- Apoio de colunas;
- Ligações do contraventamento.

Pfeil (2009) complementa dizendo que a rigidez de cada ligação deve ser consistente com a rigidez apresentada pelo detalhe da ligação adotada no modelo estrutural. As ligações normalmente são calculadas como perfeitamente rígidas ou como rótulas, mas essa ligação pode possuir comportamento

intermediário entre esses dois extremos. Na figura 7 e 8 é possível ver as possíveis ligações existentes num gráfico de momento por rotação relativa.

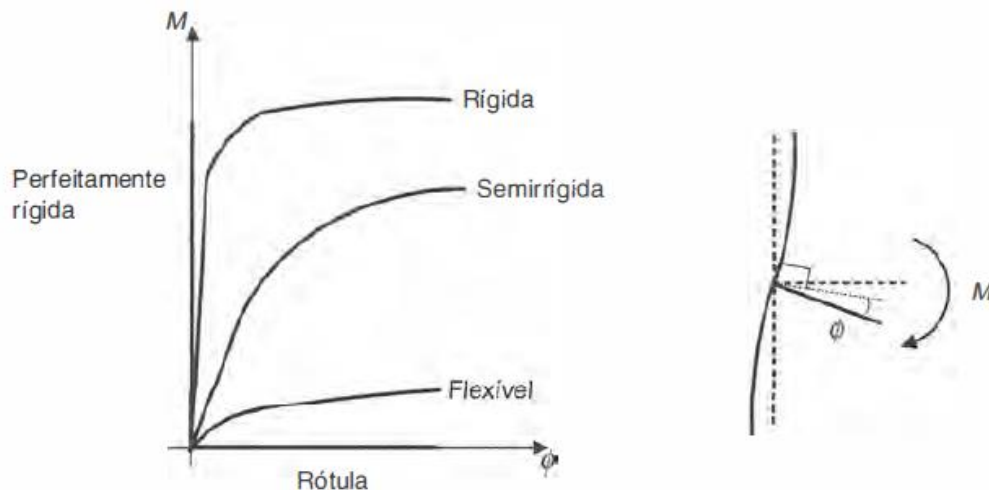


Figura 7. Comportamento momento x rotação (PFEIL, 2009)

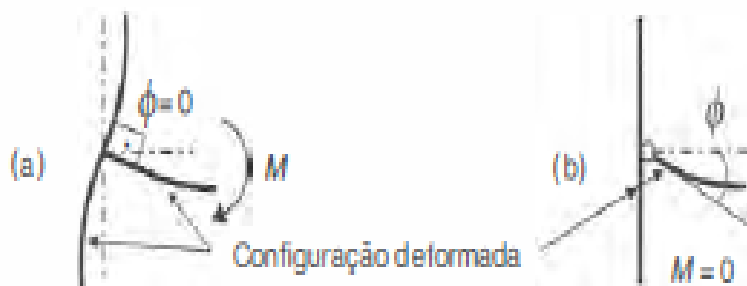


Figura 8. a) ligação rígida, b) ligação rotulada. (PFEIL, 2009)

Pfeil (2009) ainda diz que segundo os critérios para as ligações, elas podem ser classificadas em três tipos, em relação a sua rigidez à rotação:

- a) Ligação rígida:** São calculadas para transmitir o momento fletor e cortante nas juntas. Enquanto não atingem o momento resistente de ligação elas mantêm relativamente constante o ângulo entre as peças (rotação relativa quase nula), isso se dá ao fato de possuírem rigidez suficiente para resistir qualquer nível de carga. Alguns exemplos estão ilustrados na figura 9.

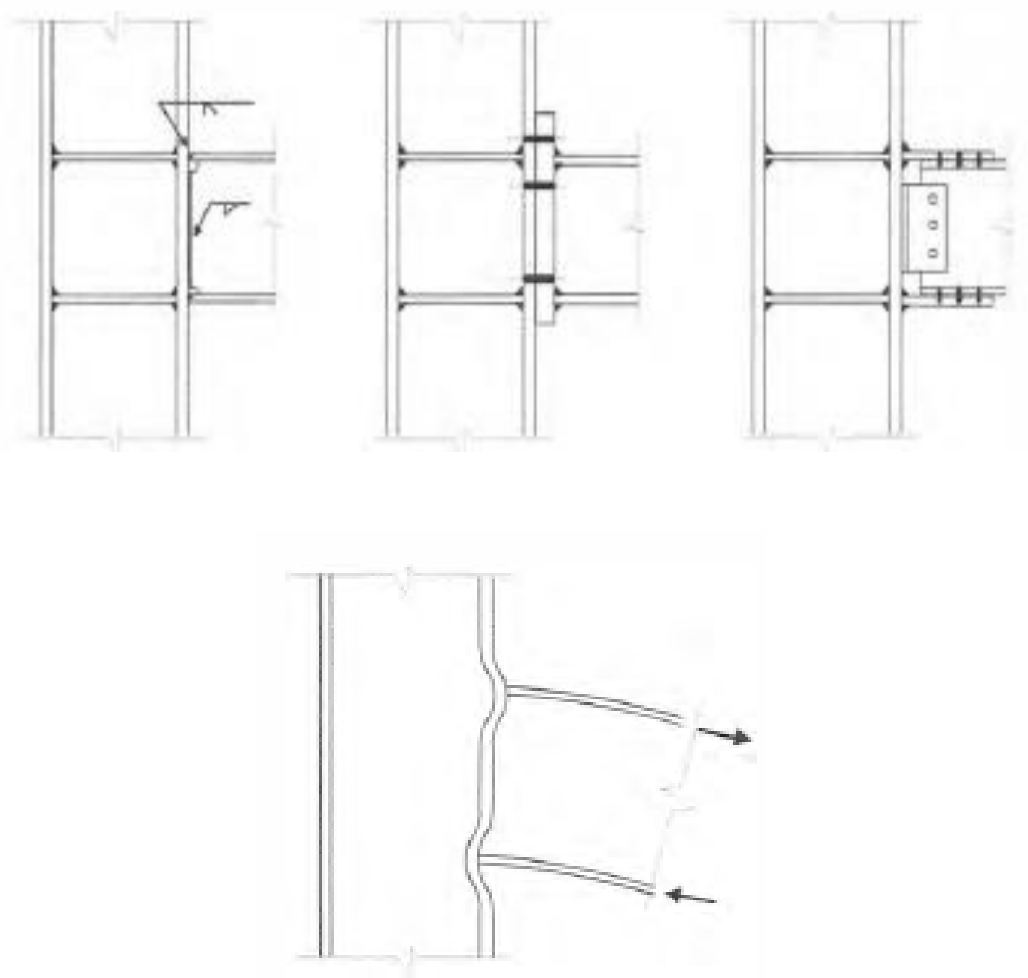


Figura 9. Exemplos de ligações rígidas (PFEIL, 2009)

b) Ligação flexível: permite a rotação relativa entre as peças com um comportamento próximo ao de uma rótula, pois transmite apenas um pequeno momento fletor. Portanto deve-se calcular a ligação para transmitir apenas o esforço cortante. Alguns exemplos estão ilustrados na figura 10.

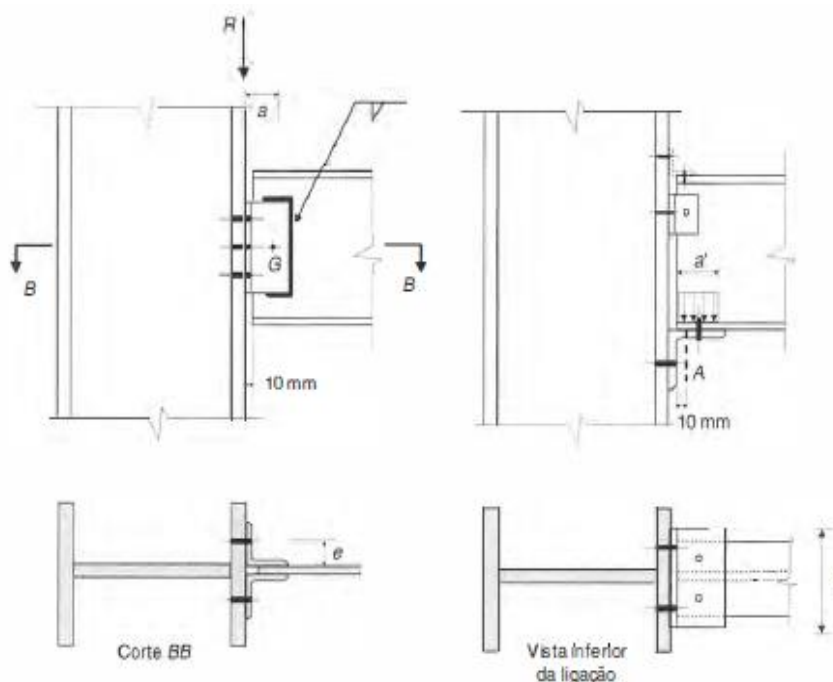


Figura 10. Exemplos de ligações flexíveis (PFEIL, 2009)

- c) **Ligação semirrígida** – possui comportamento intermediário entre (a) e (b). Apesar das ligações perfeitamente rígidas serem considerados casos ideais, dificilmente são encontrados na prática.

2.2.4. Ligação por conectores

Os tipos de conectores que garantem a união através de furos podem ser por rebites, parafusos comuns e de alta resistência (VALENCIANI, 1997).

- a) **Rebites:** Segundo Valenciani (1997), os rebites são inseridos em furos padrões onde com um martelo pneumático é aplicada uma pancada na cabeça, causando uma expansão radial no corpo, preenchendo assim a folga existente no furo. Após o resfriamento, existe uma contração que gera uma força de aperto entre o rebite e a peça de aço, proporcionando atrito na conexão.

b) Parafusos: os parafusos estruturais normalmente possuem uma cabeça quadrada ou sextavada contendo na extremidade oposta uma rosca com porca. São feitos com aço carbono de baixo teor, segundo as especificações ASTM A307. O que aumenta muita sua resistência é o tratamento térmico. Devem ser instalados com aperto, o que gera atrito entre as chapas, garantindo a união das mesmas. A Figura 11 mostra um exemplo de parafuso estrutural.

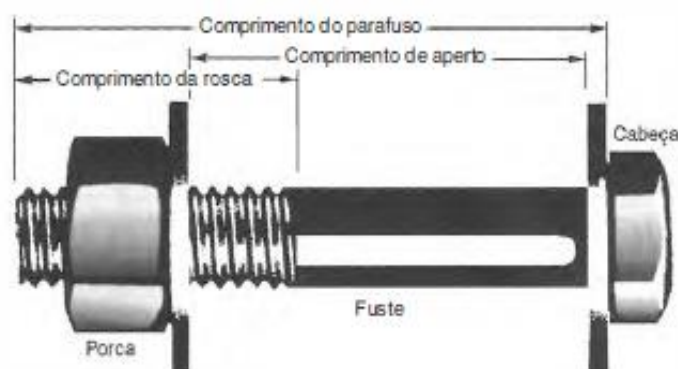


Figura 11. Ilustração parafuso (PFEIL, 2009)

2.2.5. Ligação por Soldagem

Segundo Quitès & Dutra (1979), algum tempo atrás tinha-se a ideia de soldagem exclusivamente para o processo de reparação, e somente depois dos anos 50 ocorreu a aceitação em fabricação estrutural. A soldagem por fusão é feita por meio de aquecimento do metal até sua temperatura de fusão, neste processo pode haver ou não a adição de metal de enchimento. Já a soldagem por resistência é considerada um processo de união de partes de metal por meios de aquecimento e pressão, causando a fusão das partes. O arco elétrico é meio mais usado nos procedimentos de soldagem. Podem ser empregados tanto um arco elétrico quanto uma chama de oxiacetileno para conseguir o aquecimento do metal. (QUITES & DUTRA, 1979).

Existem vários processos de soldagens, como:

- Eletrodo revestido (SWAW)
- Arco submerso (SAW)
- TIG
- MIG
- MAG-CO₂
- Eletro-escória

2.2.6. Tipos de soldas

Os quatro tipos usuais de soldas são: filete, chanfro, tampão em furo e tampão em rasgo (ranhura). Segundo Salmon & Johnson (1996), esses tipos representam as seguintes porcentagens de utilização nas construções soldadas: soldas de filete 80%, soldas em chanfro 15%, e os remanescentes 5% correspondem a tampão em furo, em rasgo e outras soldas especiais.

2.2.6.1. Soldas de filete

A seção transversal das soldas de filete apresenta-se de forma quase triangular, conseguindo ligar superfícies não coplanares, como ilustra a figura 12. A facilidade de execução e sua versatilidade, faz com que esse tipo de solda seja mais utilizado. Segundo Salmon & Johnson (1996), as soldas de filete possuem maior vantagem em trabalhos em campo, pois necessitam menor precisão durante sua execução, pois é possível a sobreposição das partes.

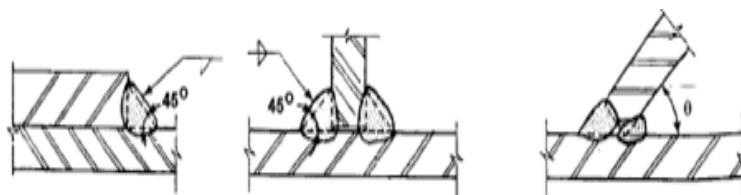


Figura 12. Representação de soldas filete (VALENCIANI, 1997)

2.2.6.2. Soldas em chanfro

O principal uso de soldas em chanfro é para conectar perfis estruturais que são alinhados no mesmo plano. Segundo Gaylord (1992), primeiramente é feito um chanfro, ou seja, cria-se uma abertura entre duas partes que serão ligadas, posteriormente é soldada essa abertura. Podem ser de penetração parcial ou total. Os tipos de soldas em chanfro são observados na figura 13:

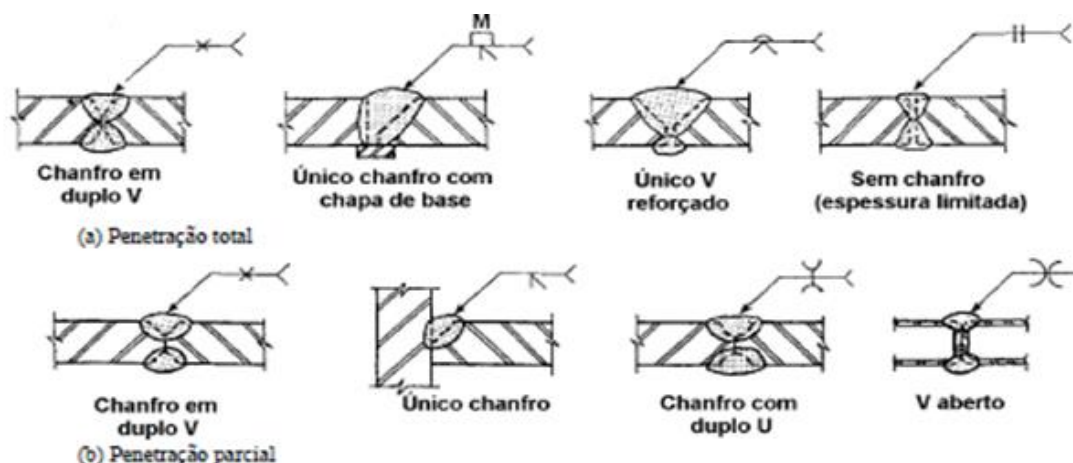


Figura 13. Representação de soldas em chanfro (VALENCIANI, 1997)

2.2.6.3. Soldas de tampão em furos e rasgos (ranhura)

Esse tipo de solda é feito com uma deposição de solda em um furo circular ou um rasgo aberto somente em uma das partes a serem soldadas com as duas partes sobrepostas. Este furo, ou rasgo, como ilustra a figura 14 deve ser preenchido completamente. Podem ainda ser usadas em combinação com soldas de filete (SALMON & JOHNSON, 1997).

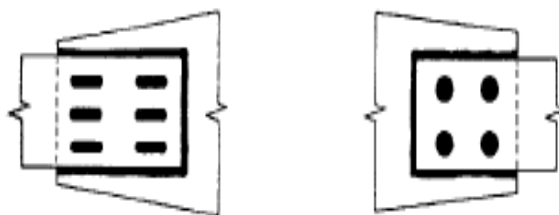


Figura 14. Solda tampão (SALMON & JOHNSON,1997)

2.2.7. Tipos de perfis utilizados na construção metálica

2.2.7.1. Perfis para colunas

Para utilização de aços em colunas de sustentação, o eixo de menor inércia do perfil também deve ter inércia expressiva. As colunas desse tipo de material são dimensionadas essencialmente à compressão. A figura 15 mostra alguns perfis utilizados como colunas (VALENCIANI, 1997).

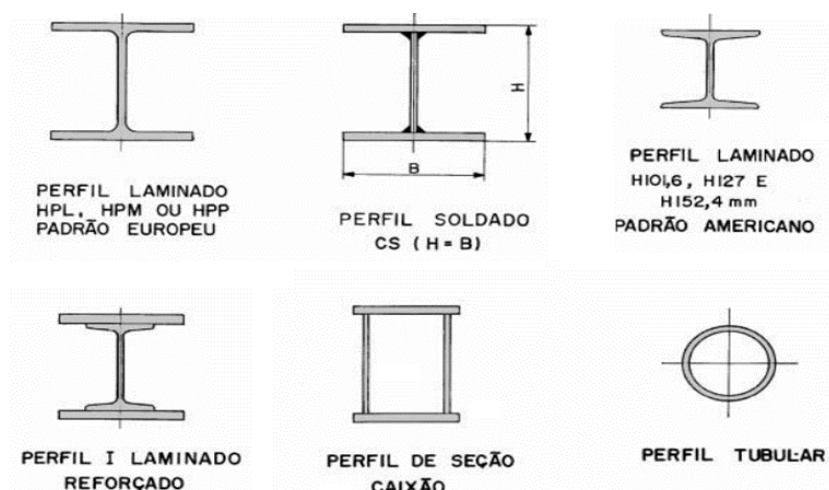


Figura 15. Perfis metálicos (VALENCIANI, 1997)

2.2.7.2. Perfis para contraventamentos

A preferência na escolha de perfis para contraventamento leva em conta a esbeltez e a resistência aos esforços normais, por esse motivo esse tipo de perfil habitualmente são leves. Os perfis usualmente utilizados são os da figura 16 (VALENCIANI, 1997).

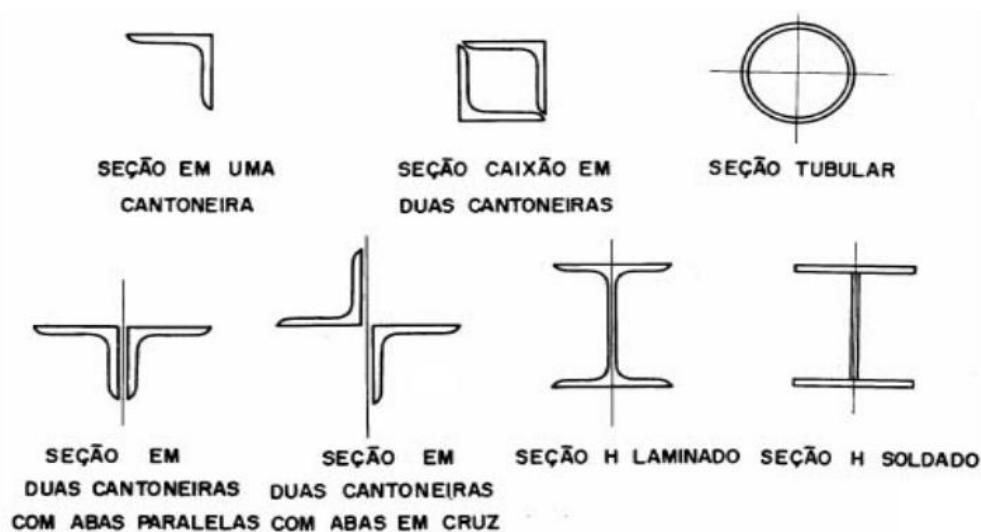


Figura 16. Perfis para contraventamento (VALENCIANI, 1997)

2.2.8. Cobertura em aço

Principais aplicações de treliças metálicas são em sistemas de coberturas, devido sua eficiência em contraventamento. Segundo Valenciani (1997), elas formam uma configuração geométrica estável de base triangular podendo ter banzos paralelos como ilustrado na figura 17 ou inclinados como na figura 18. Os tipos de treliças podem ser:

- Viga Pratt
- Viga Howe
- Viga Warren

- Viga Warren com montantes
- Trelças com banzos inclinado

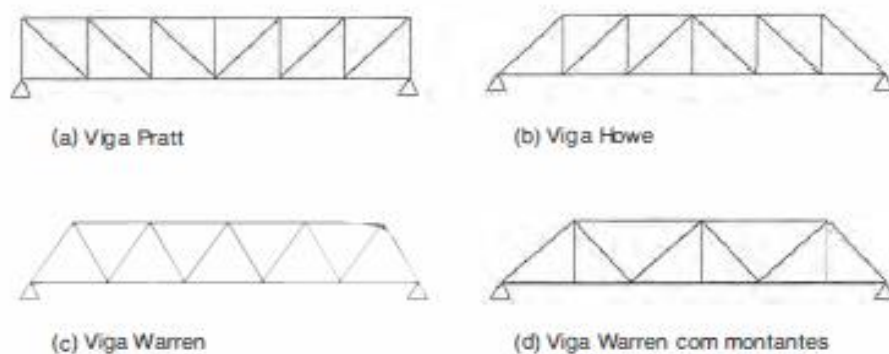


Figura 17. Trelças com banzos paralelos (VALECIANI, 1997)



Figura 18. Trelças com banzos inclinados (VALECIANI, 1997)

2.3. EFEITOS DO VENTO NAS ESTRUTURAS

As estruturas normalmente são projetadas sendo submetidas a ações permanentes e variáveis. As ações permanentes envolvem o peso próprio da estrutura e o peso dos materiais de acabamento, como dependem basicamente das suas dimensões e materiais utilizados são relativamente fáceis de serem tratadas. Já as ações variáveis apresentam maior dificuldade por dependerem do tipo de edificação a ser construída, de sua geometria ou de outras causas, tais como sobrecarga e vento (LEITE, 2016).

As cargas originadas pela ação do vento devem ser calculadas de acordo com as condições estabelecidas na NBR 6123 (1988).

A norma faz algumas definições quanto a direção e pressão do vento incidente em uma estrutura. De acordo com NBR 6123 (1988), o sotavento é a região oposta àquela de onde sopra o vento, em relação à edificação, já o barlavento é a região de onde sopra o vento, em relação à edificação. A sobrepressão é a pressão efetiva acima da pressão atmosférica de referência, e a sucção é a pressão efetiva abaixo da pressão atmosférica de referência.

Pode-se definir o vento como sendo o movimento de uma massa de ar devido às variações de temperatura e pressão. Estando em movimento, essa massa possui energia cinética, mantendo certa inércia às mudanças do deslocamento. Sua trajetória pode sofrer alteração se um corpo é colocado no fluxo do vento, isso ocorre porque houve uma interação de forças entre a massa de ar e a superfície do corpo. (LEITE, 2016).

Segundo a NBR 6123 (1988), a velocidade básica do vento é a velocidade de uma rajada de 3 segundos, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano. Porém a referida norma orienta em caso de necessidade de um conhecimento mais preciso da influência do relevo, ou da dificuldade da aplicação destas indicações pela complexidade do relevo, que seja utilizado o recurso de ensaios de modelos topográficos em túnel de vento ou a medidas anemométricas no próprio terreno (NBR 6123,1988).

A NBR 6123 (1988) define parâmetros da velocidade básica em um mapa de isopletas, o qual está subdividido em regiões onde se encontram demonstradas as variações das velocidades básicas utilizadas para o cálculo dos esforços de vento. A figura 19 contém a representação do mapa das isopletas com as velocidades básicas em metros por segundo (m/s).

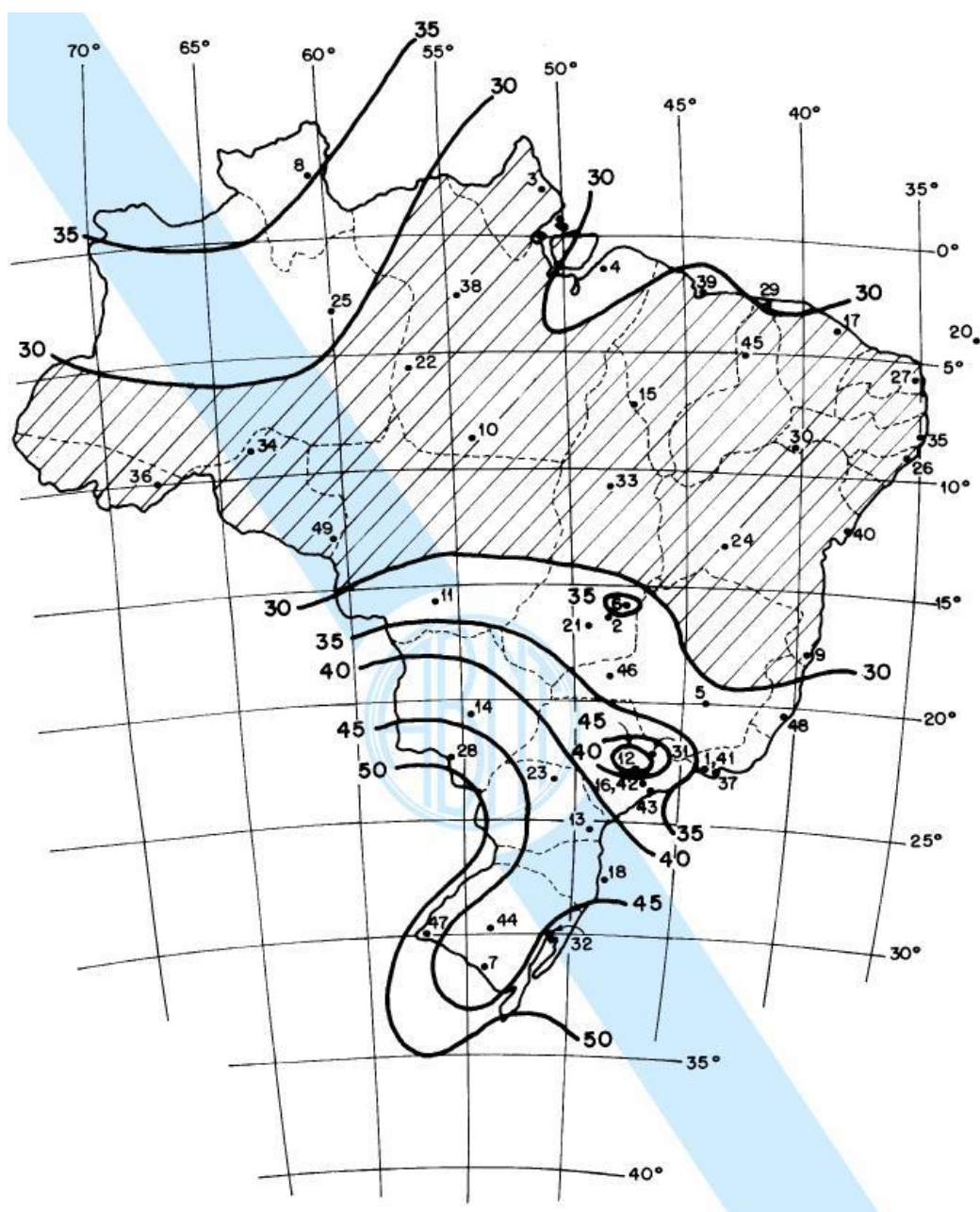


Figura 19. Isopletas da velocidade básica (NBR 6123, 1988)

2.3.1. Vento atuando em galpões

O peso próprio da estrutura gera cargas no sentido da gravidade, porém durante a ação do vento pode haver predominância da sucção de vento na

cobertura sobre as cargas gravitacionais, ocorre então inversão de esforços internos nos elementos da treliça (PFEIL, 2009).

A figura 20 mostra a ação do vento em sistemas portantes de galpões.

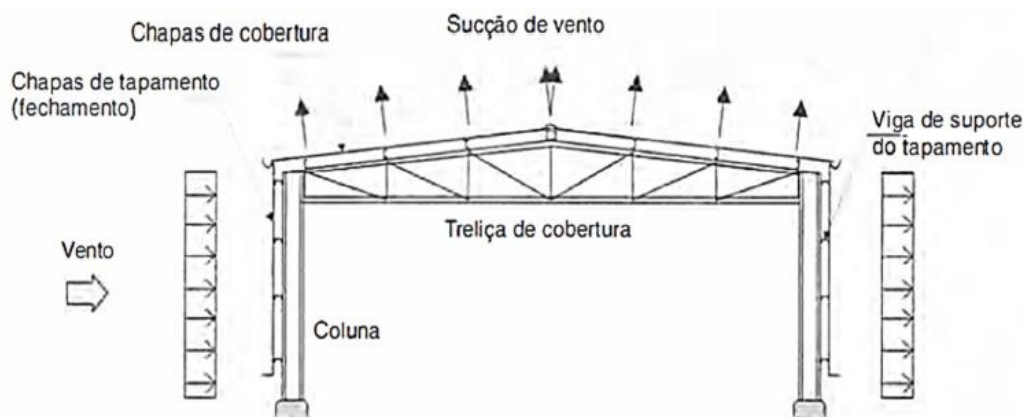


Figura 20. Sistema portante principal (PFEIL, 2009)

As terças são vigas longitudinais dispostas nos planos da cobertura, são elas que transmitem à estrutura as cargas atuantes como peso das telhas e sobrepressões e sucções devidas ao vento, transferindo estas à estrutura principal. As cargas de vento (V) produzem nas terças flexão reta em torno do eixo de maior inércia, enquanto as cargas gravitacionais (G) produzem flexão oblíqua, a figura 21 mostra a inclinação da terça no plano da cobertura e as forças atuantes na mesma (PFEIL, 2009).

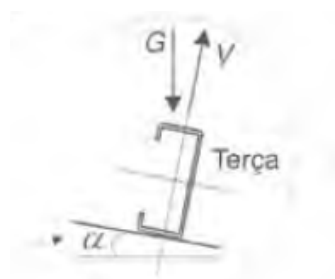


Figura 21. Forças atuando nas terças (PFEIL, 2009)

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo estão descritas as considerações sobre a pesquisa, bem como cada etapa de desenvolvimento e os critérios de análise para cada situação proposta.

Para estrutura totalmente em pré-fabricado optou-se pelo modelo de pórtico atirantado. Já a cobertura em aço será com treliças planas com banzos não paralelos sendo somente os pilares em pré-fabricados.

O galpão escolhido para objeto de estudo tem dimensões de 20,00 x 40,00m e altura livre de 7,00m, com distância entre pórticos de 5,00m. Para a opção pré-moldada foi dimensionado considerando a utilização de concreto com resistência característica (f_{ck}) de 35 MPa (mega pascal), sendo composto por pilares seção retangular, vigas inclinadas de seção “T” e terças seção “L”. A cobertura do galpão é em duas águas com telhas fibrocimento de espessura 6,0mm e inclinação de 23%. Para situação da estrutura em aço deste estudo considerou-se a utilização de treliças planas composta de perfis formados a frio e perfis laminados, com a cobertura em duas águas, terças metálicas e telhas em aço espessura 5,0mm, com inclinação de 20%, para os pilares foi considerada a utilização concreto pré-moldado com f_{ck} de 35 MPa. O fechamento lateral para os dois casos foi considerado como sendo em alvenaria, contudo, somente para condições de análise estrutural, não estando incluindo no estudo da viabilidade. Ainda não terão seus valores incluídos no estudo de viabilidade: as telhas utilizadas, o piso, as instalações e os acabamentos, considerados iguais para os dois modelos.

Na figura 22 pode ser observada uma planta baixa contendo a locação dos pilares do galpão estudado, onde as dimensões estão consideradas em metros.

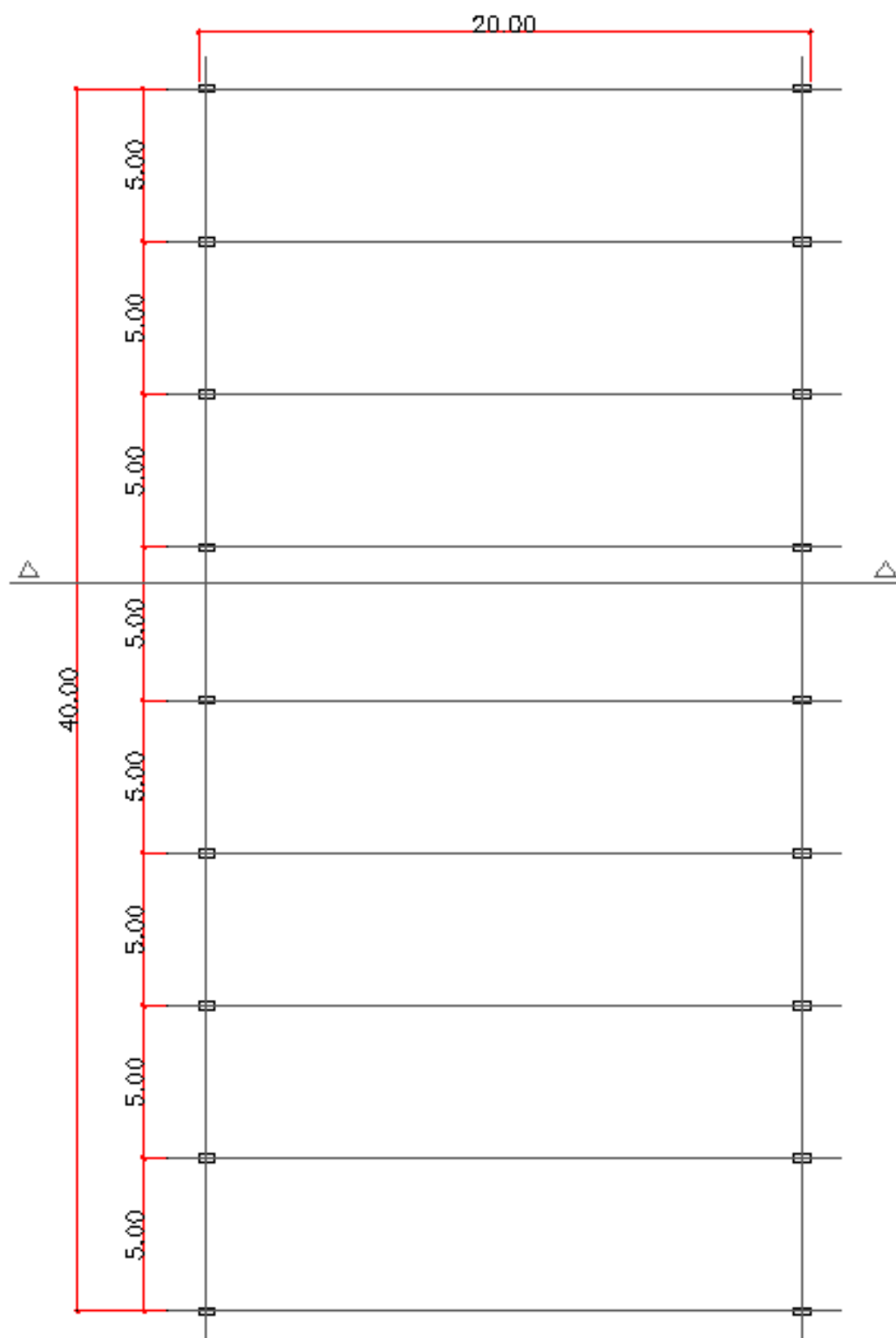


Figura 22. Planta de localização dos pilares. (AUTORES)

Na figura 23 está representado um corte indicando a altura do galpão pré-moldado. Dimensões em metros.

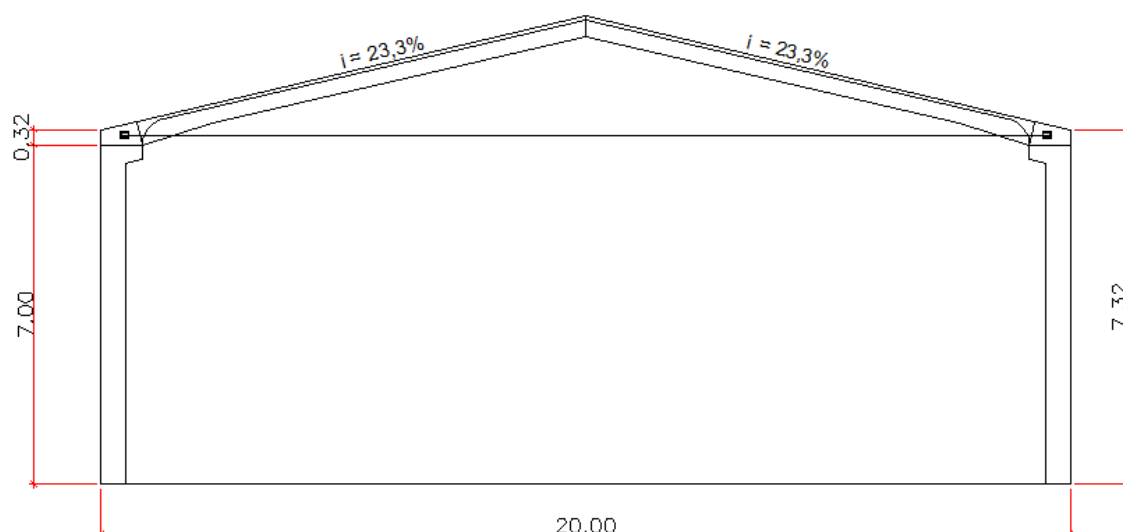


Figura 23. Vista em corte para galpão pré-moldado. (AUTORES)

A figura 24 ilustra um corte com dimensões em metros para o galpão com cobertura metálica.

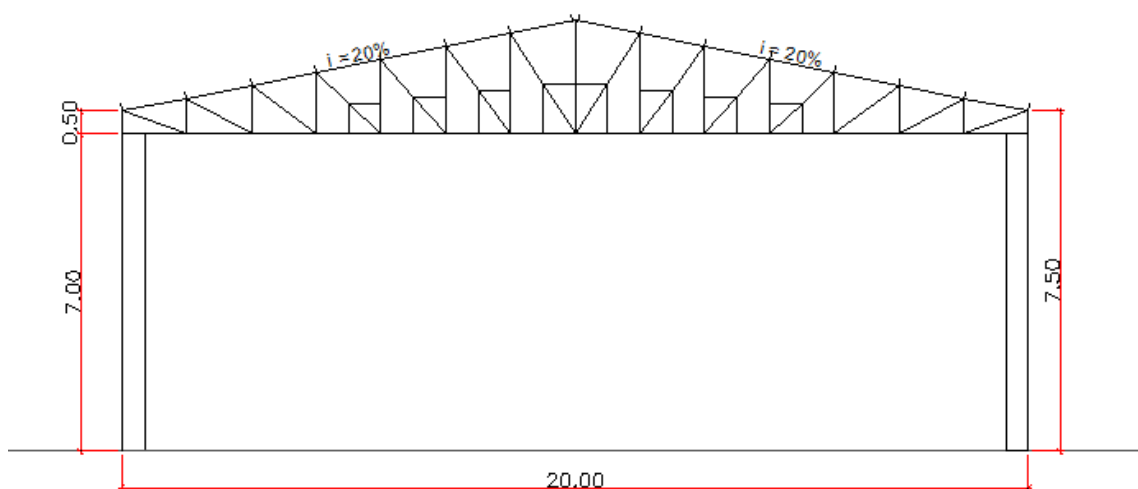


Figura 24. Vista em corte para cobertura metálica. (AUTORES)

Na figura 25 é demonstrado uma ilustração em 3D da obra a ser estudada com a opção em estrutura pré-moldada.

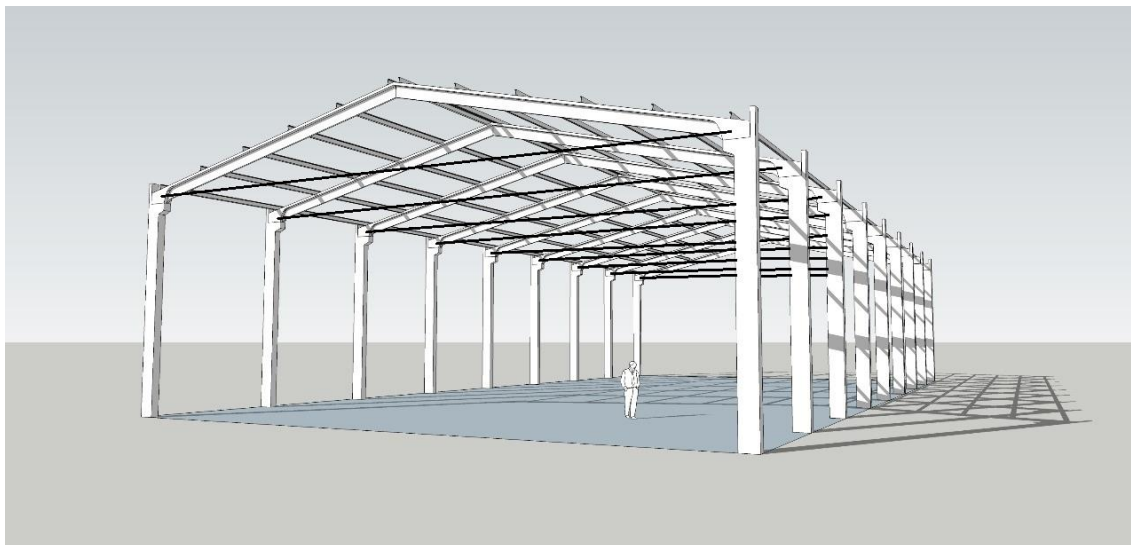


Figura 25. 3D ilustrativo para pré-molados. (AUTORES)

No desenvolvimento dessa pesquisa os principais materiais utilizados foram os softwares para análise e cálculo estrutural, sendo que para análise e verificações da cobertura em concreto foi utilizado o software Pré-moldar e para o dimensionamento da cobertura em aço foi utilizado o software Metálicas 3D. Para o cálculo e verificação da taxa de armadura dos pilares em concreto do galpão em cobertura metálica foi utilizado o software PCalc, desenvolvido pelo professor Sander David Cardoso. A verificação e dimensionamento da armadura dos braços de cobertura seção “T” e terças seção ‘L’ foi utilizando o software Oblíqua da UFPR desenvolvido pelo professor Sérgio Scheer. Ainda foram utilizados materiais de pesquisa e consulta em normas específicas para os cálculos e os dimensionamentos estruturais.

O experimento foi realizado em 3 etapas e considerações distintas, como descrito a seguir:

- 1) A primeira análise foi feita para o galpão em estrutura pré-fabricada, seguindo as considerações de localização e vento para região metropolitana de Curitiba, ou seja, vento a 42 m/s. Ainda nesta etapa foi analisada a cobertura com treliças em aço, mas utilizando a

mesma situação de vento da análise feita para a estrutura em concreto. Com os resultados obtidos foi feito um comparativo de viabilidade entre os dois modelos;

2) A segunda análise foi feita desconsiderando o vento nas duas estruturas, mas otimizando a seção das peças em concreto bem como os perfis da cobertura em aço. Para este caso, também foi comparada a viabilidade entre os sistemas de cobertura;

3) A terceira e última análise teve como comparativo a velocidade básica do vento agindo nas estruturas em mais duas variações: 30m/s e 54m/s. As estruturas foram dimensionadas buscando a maior economia possível, visando a comparação da viabilidade entre os dois sistemas estruturais em relação à variabilidade mais acentuada do vento.

A composição dos custos das peças produzidas em concreto pré-moldado teve como base o volume de concreto a taxa de armadura. Neste trabalho não serão demonstrados os detalhamentos das armaduras nas seções, porém os resultados estão demonstrados em quilogramas de aço consumidos em cada peça. De mesma maneira não serão demonstrados os perfis em aço utilizados para formar o quantitativo detalhado para cobertura, apenas a quantidade em peso, os quais são dados suficiente para gerar o valor dos custos finais de cada tipo de obra estudada.

Para compor o custo final da parte referente ao concreto, foi utilizado o preço do concreto usinado fornecido pelo SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil) pesquisado para cidade de Curitiba para o mês de agosto de 2017 o qual indicou um valor de R\$ 238,25, a esse custo foram acrescidas despesas adicionais como a de mão-de-obra e equipamentos para execução, impostos, serviços técnicos para execução, montagem das peças na obra, chegando ao valor de R\$ 1.530,58 por m³ (metro cúbico) de concreto pré-moldado consumido em cada obra. O custo do aço

utilizado no concreto armado foi baseado na compra dos vergalhões no valor de R\$ 3,29 por kg (quilograma), também retirados da tabela de preços de insumos fornecidas pelo SINAPI para dezembro de 2017, somados a mão-de-obra e equipamentos para execução, custo com encargos e impostos, totalizando o valor de R\$ 5,28 por Kg. Já para cobertura em aço o custo foi baseado no peso total dos perfis dimensionados nas diferentes análises do estudo. O valor foi cotado em R\$ 10,19 por quilograma de material utilizado, fonte tabela de preços e insumos SINAPI para o estado do Paraná em dezembro de 2017.

Uma importante consideração que deve feita acerca do estudo é o fato de não estarem inclusos os custos com as fundações para os dois tipos de estrutura, ficando fora da delimitação do presente trabalho, os quais possivelmente trariam uma variação nas diferenças de custo para os galpões. Cabe ainda observar que os valores apresentados podem variar de uma fábrica para outra, pois cada empresa possui uma logística e metodologia diferente.

3.1. DESENVOLVIMENTO DA PRIMEIRA ANÁLISE

A primeira análise para o galpão estudado considerou a atuação do vento na região de Curitiba, portanto a uma velocidade básica de 42 m/s.

3.1.1. Dimensionamento do galpão pré-moldado para vento 42 m/s

No software Pré-Moldar foi modelada toda a estrutura e processados os pórticos gerando as solicitações para o dimensionamento da obra. O software Oblíqua foi utilizado para dimensionar os tipos de peças que não podem ser feitos diretamente pelo software Pré-Moldar, neste caso os braços e terças da cobertura.

3.1.1.1. Lançamento e dimensionamento no software Pré-moldar

Com o software Pré-Moldar é possível modelar estruturas para galpões pré-moldados com maior facilidade. A seguir estão demonstrados brevemente os passos de lançamento e análise do galpão.

Primeiramente são criados os pontos que servem de referência para o lançamento das peças da estrutura, na sequência são modelados os pilares utilizando as peças existentes na biblioteca do programa ou criando novas peças de acordo com as necessidades do usuário ou formas disponíveis. Na imagem 26 pode ser visto a janela de modelagem dos pilares.

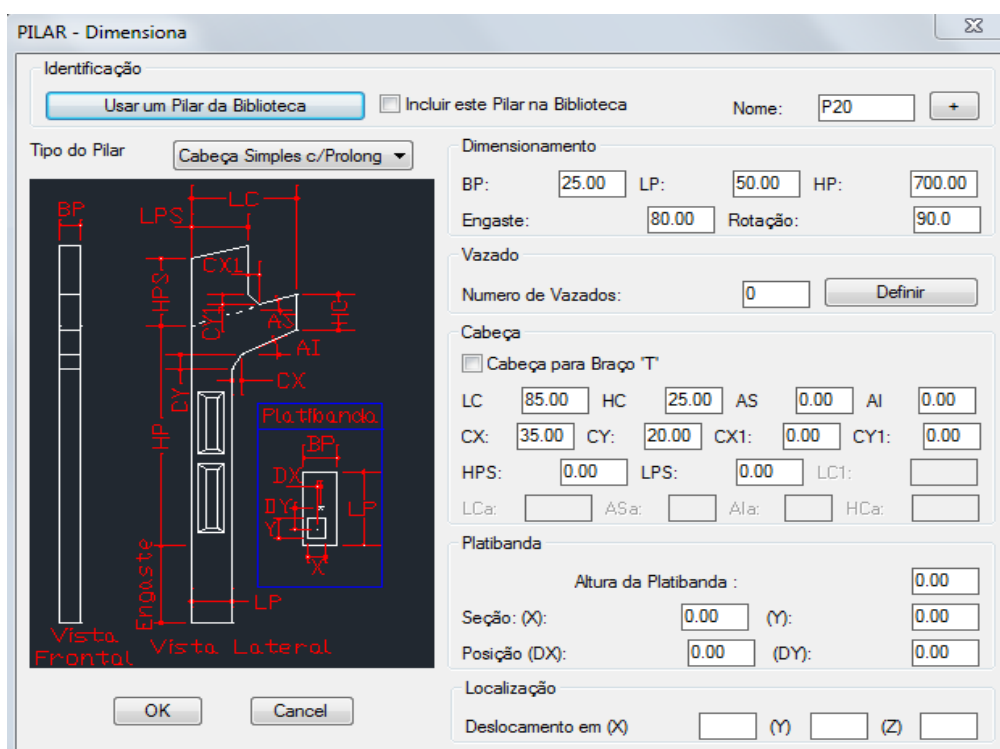


Figura 26. Modelagem dos pilares

Após a modelagem de todos os pilares, são incluídos os braços de cobertura, os quais também podem ser retirados da biblioteca onde estão pré-cadastrados. A janela de lançamento está representada na figura 27.

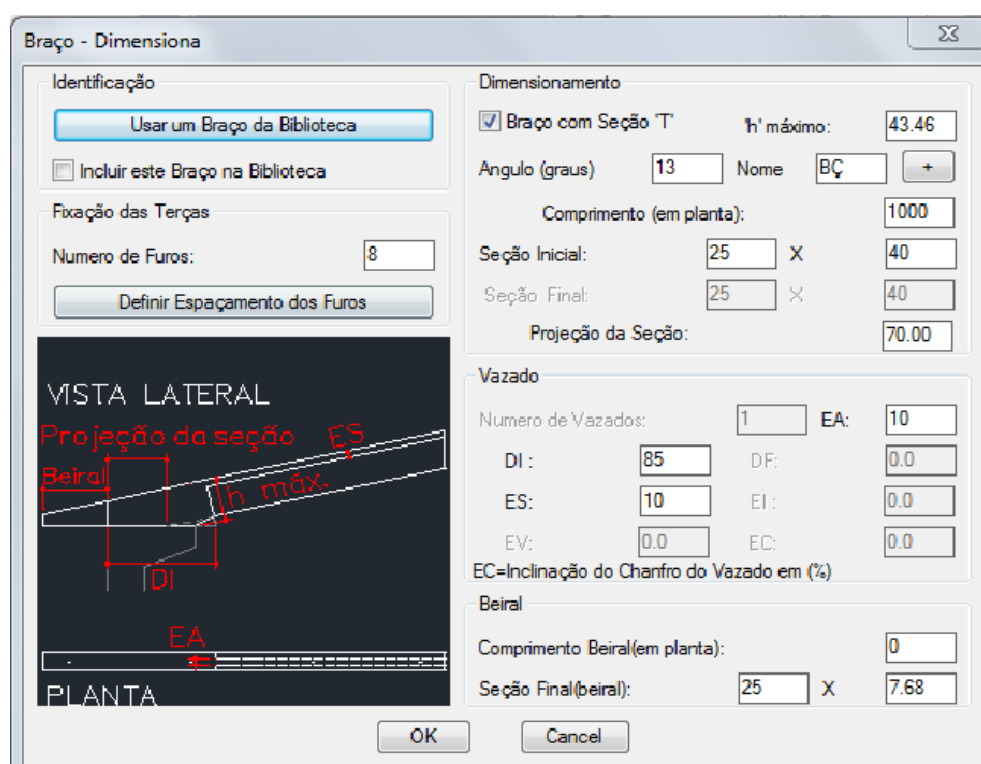


Figura 27. Modelagem dos braços

Tendo os braços de cobertura já modelados, a próxima etapa é a modelagem das terças. Pode ser visto um exemplo do procedimento na imagem 28, a qual mostra uma janela do programa destinada para este fim.

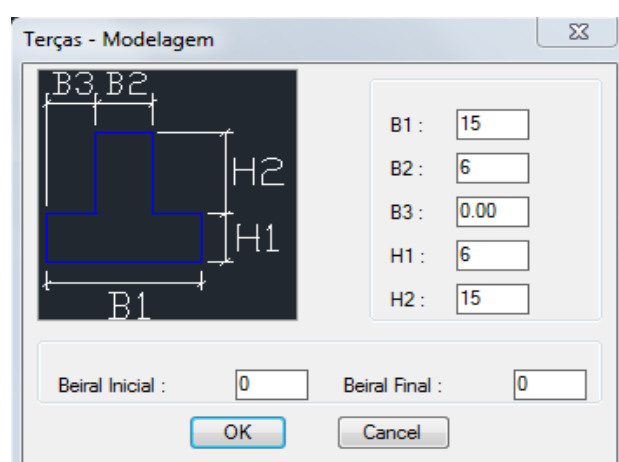


Figura 28. Modelagem das terças

Após lançada a estrutura para um galpão simples, sem mezanino ou andares intermediários, a modelagem inicial da estrutura pode ser visualizada em três dimensões, como demonstrado na figura 29. Como o software trabalha integrado na plataforma do AutoCad, podem ser feitas algumas alterações neste programa para melhorar a apresentação.

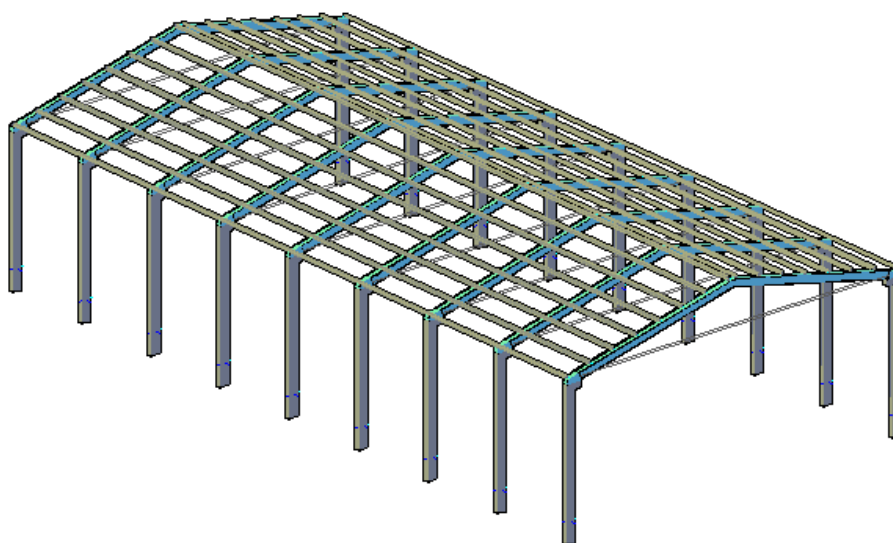


Figura 29. Estrutura modelada no Pré-Moldar

Na sequência foram feitos os lançamentos das cargas. Primeiro foram lançadas as cargas nas terças de cobertura, tanto as cargas que compõem o peso das telhas, como as acidentais, vento e de utilização. Para melhor comparar o desempenho das estruturas, optou-se por utilizar as mesmas cargas de vento tanto para cobertura em concreto quanto para a cobertura metálica utilizadas no software Metálicas 3D, sendo estas distribuídas linearmente ao longo das terças e convertidas, no caso do Pré-moldar, na unidade em tf/m.

A tabela 2 demonstra as cargas utilizadas para cálculo no software, considerando o vento a 42 m/s. Convencionou-se o eixo z + para o sentido da força da gravidade, x + na direção transversal ao comprimento do galpão e y + no sentido longitudinal ao comprimento do galpão.

POSIÇÃO	TIPO	VALOR	UNID	EIXO
Linear terça	TELHAS	0,026	tf/m	z +
Linear terça	MONTAGEM	0,036	tf/m	z +
Linear terça	UTILIZAÇÃO	0,010	tf/m	z +
Linear terça ESQ	vento 01 (sucção)	-0,071	tf/m	z -
Linear terça	vento 02 (pressão)	0,010	tf/m	z +
Linear terça DIR	vento 03 (sucção)	-0,010	tf/m	z -
Pilar ESQ (p/ dentro)	vento 90°	0,333	tf/m	x +
Pilar DIR (p/ fora)	vento 90°	0,067	tf/m	x +
Pilar ESQ	vento 0°	-0,067	tf/m	x +
Pilar DIR	vento 0°	0,067	tf/m	x +
Pilar DIR e ESQ eixo y	vento 0°	0,037	tf/m	y +

Tabela 2. Cargas para galpão com vento a 42 m/s

As cargas de vento também foram lançadas nos pilares ao longo de sua altura, distribuindo-se linearmente. O programa produz a conversão das cargas lançadas linearmente em toneladas força por metro linear (tf/m) nos pilares para cargas concentradas em toneladas (T) e espaçadas entre si proporcionalmente, como demonstradas na figura 30.

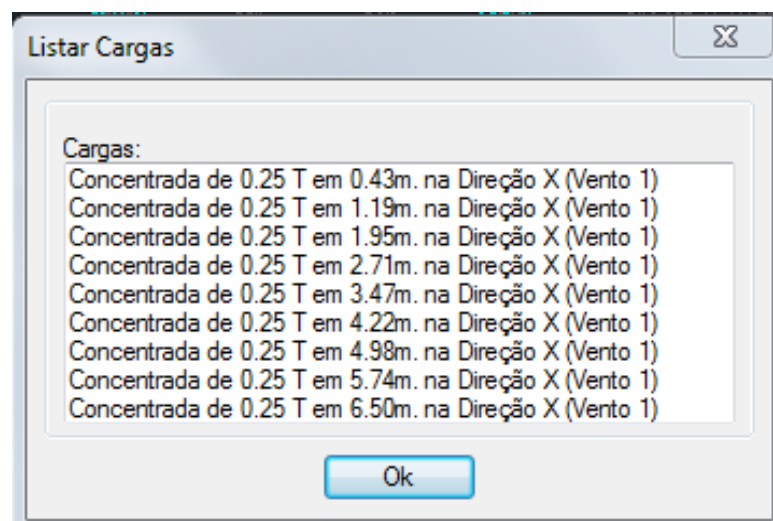


Figura 30. Verificação das cargas nas terças e nos pilares

Em seguida foram feitas as combinações de carregamento para então a estrutura ser processada. A figura 31 ilustra a janela com as últimas definições antes do processamento da estrutura.

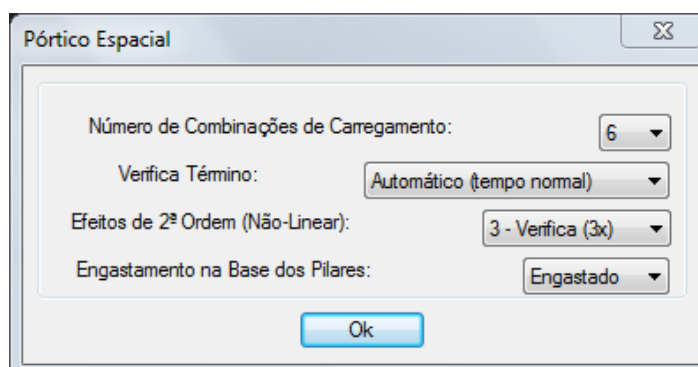


Figura 31. Janela de cálculo do Pórtico espacial

Após o processamento dos pórticos da estrutura, é feita na sequência o dimensionamento das peças utilizando os dados que programa Pré-Moldar dispõe como resultado. Nesta versão do software utilizado pode ser feito o dimensionamento e detalhamento para os pilares, porém para as vigas de cobertura e seus tirantes, os resultados que o programa dispõe são dados dos esforços somente, os quais podem ser utilizados em conjunto com outros softwares para o dimensionamento ou mesmo para o detalhamento das peças.

Na figura 32 pode ser observada a janela de dimensionamento dos pilares pelo próprio programa.

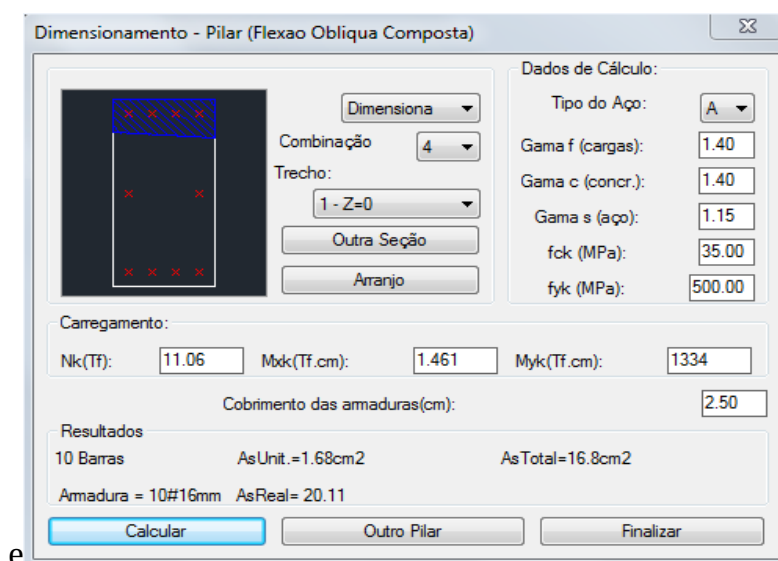


Figura 32. Dimensionamento do pilar com maior solicitação

Em obras pré-moldadas os elementos que possuem mesmo formato e são utilizados para o mesmo fim são produzidos repetidamente, utilizando o mesmo projeto de detalhamento. Sendo assim, o dimensionamento para os pilares de toda obra foi feito utilizando os resultados do pilar com maiores solicitações, o que se justifica economicamente pela maior produtividade durante a execução. De maneira análoga, outras peças da obra que não podem ser dimensionadas pelo software Pré-moldar, como os braços e as terças, também foram calculados e detalhados seguindo o mesmo critério, ou seja, utilizando os dados referentes às solicitações mais desfavoráveis para cada tipo de peça. Como algumas peças necessitaram ser calculadas por softwares adicionais, foi utilizado para estes casos o programa Oblíqua.

3.1.1.2. Dimensionamento no software Oblíqua

Para os braços de cobertura, foi necessário fazer o dimensionamento da armadura e verificação da seção de concreto utilizando um programa complementar, neste caso foi optado por utilizar o software Oblíqua.

Os valores das solicitações que foram introduzidos no software Oblíqua, vem de resultados gerados no Pré-Moldar em formato de texto, do qual são retiradas as solicitações mais desfavoráveis dentre as combinações realizadas pelo programa.

O dimensionamento das terças pré-moldadas seguiu o mesmo critério de repetição e sendo também utilizado o software Oblíqua, neste caso mudando o formato da seção, bem como suas dimensões e combinações de carregamento. As figuras 33 e 34 mostram as janelas de dimensionamento dos dois tipos de elementos estruturais.

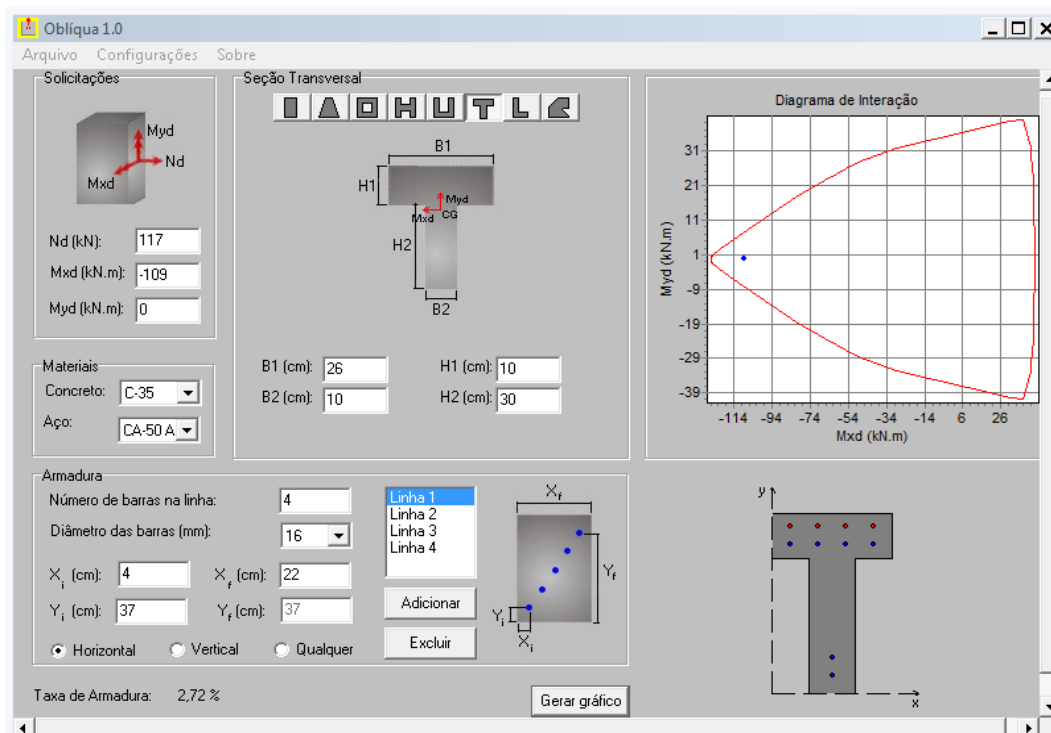


Figura 33. Dimensionamento do braço de cobertura seção “T”

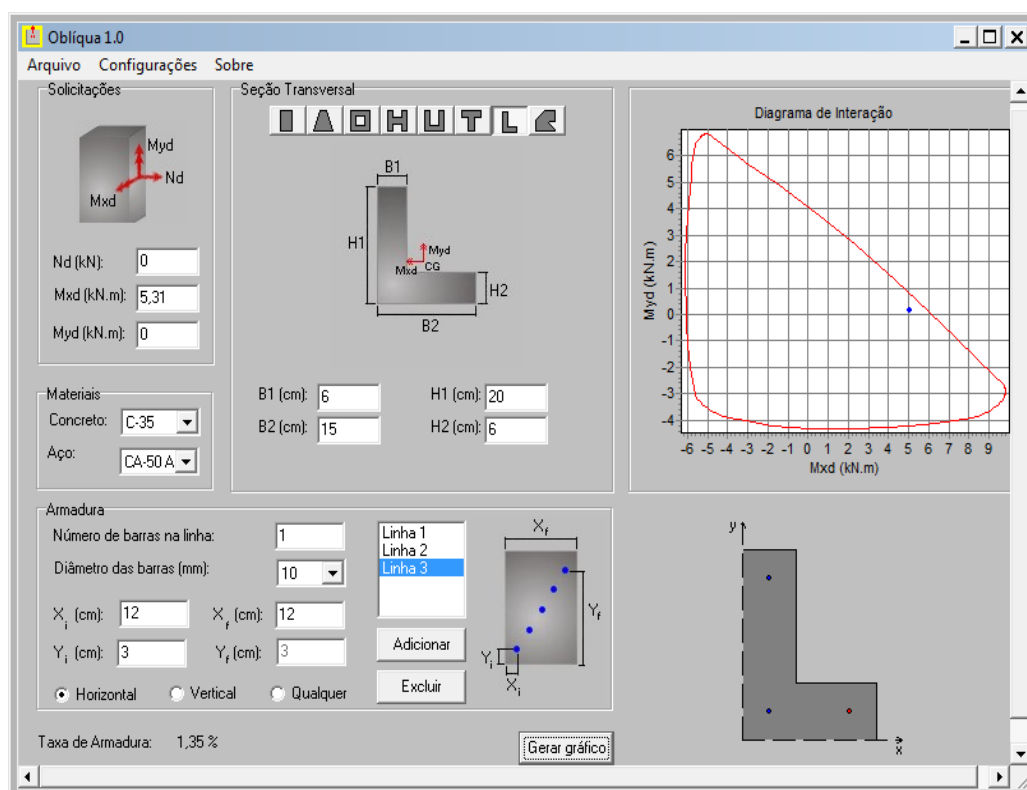


Figura 34. Dimensionamento da terça de cobertura seção em “L”

3.1.2. Dimensionamento do galpão com cobertura metálica para vento de 42 m/s

O dimensionamento do galpão que possui cobertura estruturada em perfis metálicos e pilares em concreto pré-moldado foi feito em duas etapas, primeiramente dimensionou-se a cobertura utilizando o software Metálicas 3D, a seguir, utilizando os dados provenientes dos cálculos realizados pelo programa, foram calculados os pilares utilizando um software adicional, neste caso o Pcalc. Na sequência serão demonstrados alguns dos procedimentos realizados para se chegar ao final do dimensionamento para situação de vento com velocidade básica de 42 m/s.

3.1.2.1. Análise e dimensionamento no software Metálicas 3D

O Metálicas 3D é um software utilizado em análise e dimensionamento de estruturas metálicas e de madeira, tanto para galpões como para cálculo de edifícios. Na modelagem de galpões, para um maior rendimento, deve ainda ser utilizado em conjunto com o módulo chamado Gerador de Pórticos, no qual é possível fazer uma modelagem simples de um galpão e gerar os carregamentos de vento. As cargas geradas bem como a modelagem 3D da estrutura são exportados para o Metálicas 3D para completar a modelagem e realizar o dimensionamento dos perfis.

A figura 35 mostra a janela de exportação do gerador de pórticos.

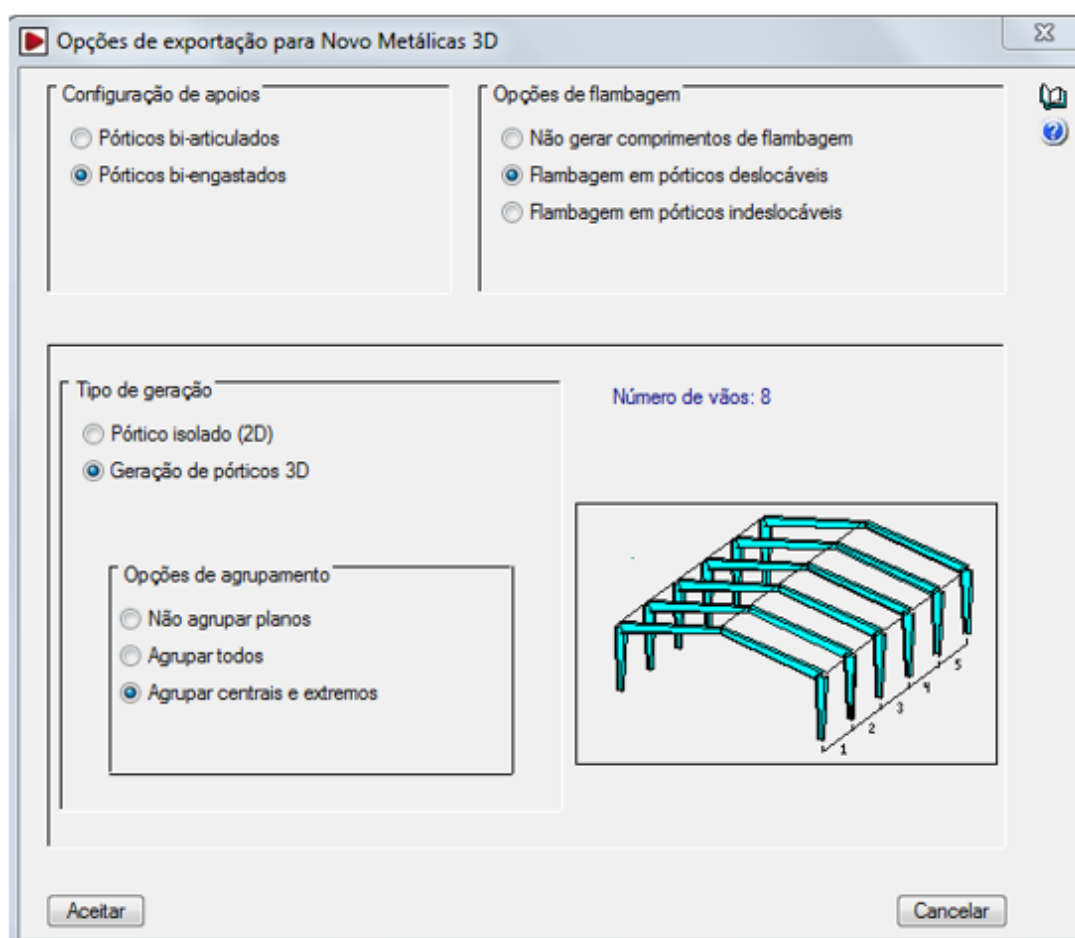


Figura 35. Janela de exportação do gerador de pórticos

Após importados a obra do módulo de gerador de pórticos podem ser observadas as cargas geradas pelo vento em vários ângulos de incidência na estrutura, porém na cobertura elas estão distribuídas ao longo dos banzos superiores não sendo possível dessa maneira gerar os esforços corretamente, sendo que os primeiros componentes estruturais que recebem tais cargas são as terças de cobertura as quais descarregam posteriormente nos banzos das treliças de forma concentrada nos respectivos nós em que estão apoiadas.

A figura 36 mostra como é visualizada a estrutura no momento que acaba de ser importada pelo software Metálicas 3D, proveniente do módulo gerador de pórticos.



Figura 36. Obra importada do gerador de pórticos

Para possibilitar o cálculo correto foi necessário converter essas cargas distribuídas linearmente em cargas distribuídas por área, dividindo o valor das ações lineares atuando nos banzos da treliça pela distância entre os pórticos, e posteriormente transformando em carga linear compatível com as distâncias entre as terças. Esses cálculos são feitos à parte, sendo aplicados já na estrutura remodelada para um melhor aproveitamento dos perfis. A seguir está demonstrado como foram feitas estas conversões.

$$Carga\ por\ área = \frac{carga\ linear\ nos\ banzos}{distância\ entre\ pórticos}$$

$$Carga\ linear\ nas\ terças = carga\ por\ área \times distância\ entre\ terças$$

A figura 37 mostra a planilha eletrônica utilizada para otimizar essas conversões das ações na cobertura para a consideração de vento a 42 m/s.

42 M/S						
Cargas em barras					USAR NO METAL 3D	
Cobertura	UTILIZAÇÃO	SCU1	NÓS INF	50	0,500	KN
Cobertura	MONTAGEM	SCU2	TERÇAS	0,25	0,363	kN/m
Cobertura	EQUIPAM	SCU3	NÓ CENTRAL	400	4,000	KN
Pórtico 2, Pórtico 3, Pórtico 4, Pórtico 5, Pórtico 6, Pórtico 7, Pórtico 8						
				kN/m banz. / 5 m (KN/m2)	* 1,45 (KN/m terças)	CONFER.
Cobertura DIR	Permanente telhas			0,1	0,145	10 Kg/m2
Cobertura DIR	Direção 90 graus			-2,46	-0,492	-49,2 Kg/m2
Cobertura DIR	Direção -90 graus			-0,33	-0,066	-6,6 Kg/m2
Cobertura DIR	Direção 0 graus (A) posição central	(A)		-1	-0,2	-20 Kg/m2
Cobertura DIR	Direção 0 graus (A) posição extremo	(A)		-1,66	-0,332	-33,2 Kg/m2
Cobertura DIR	Direção 180 graus posição central	central		0,33	0,066	6,6 Kg/m2
Cobertura DIR	Direção 180 graus posição extremo	extremo		0,33	0,066	6,6 Kg/m2
Cobertura ESQ	Permanente telhas			0,1	0,145	10 Kg/m2
Cobertura ESQ	Direção 90 graus			-0,33	-0,066	-6,6 Kg/m2
Cobertura ESQ	Direção -90 graus			-2,46	-0,492	-49,2 Kg/m2
Cobertura ESQ	Direção 0 graus (A) posição central	(A)		-1	-0,2	-20 Kg/m2
Cobertura ESQ	Direção 0 graus (A) posição extremo	(A)		-1,66	-0,332	-33,2 Kg/m2
Cobertura ESQ	Direção 180 graus posição central			0,33	0,066	6,6 Kg/m2
Cobertura ESQ	Direção 180 graus posição extremo			0,33	0,066	6,6 Kg/m2

Figura 37. Valor das ações na cobertura – vento 42 m/s

Na sequência é feito o lançamento das cargas convertidas nas terças de cobertura, sendo uma operação para cada hipótese de vento. A figura 38 mostra uma das janelas utilizadas neste procedimento.

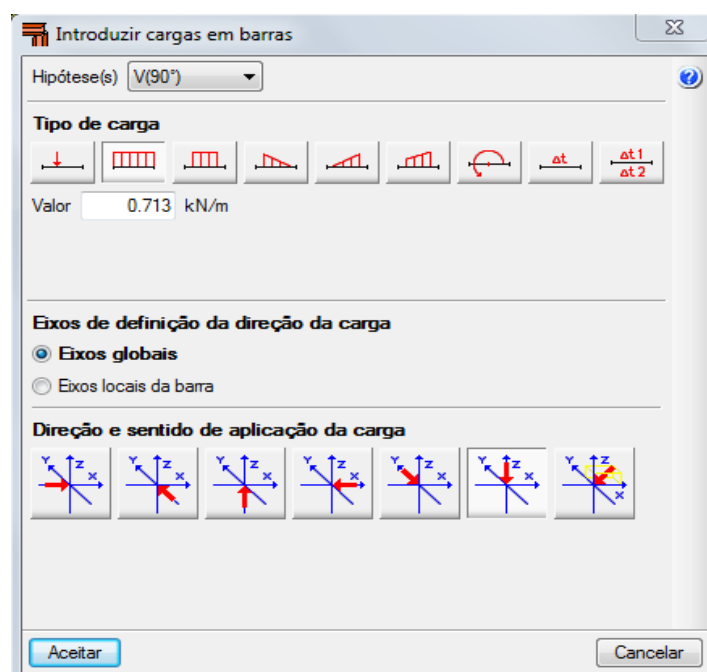


Figura 38. Lançamento das cargas convertidas

Na figura 39 é possível visualizar a estrutura já remodelada e com formato mais adequada para projeto, bem como as cargas já convertidas e lançadas nas terças e pilares.

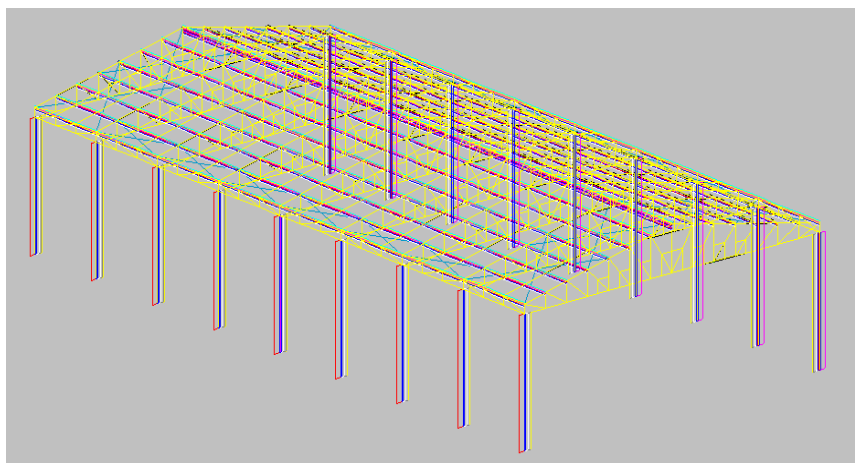


Figura 39. Cargas convertidas lançadas nas terças e pilares

Após modelada a estrutura e feito o lançamento das cargas são feitas outras configurações necessárias como: descrição dos perfis, disposição, descrição dos materiais, combinações das ações entre outras. Na sequência a estrutura é processada pelo software, como demonstrado na figura 40.

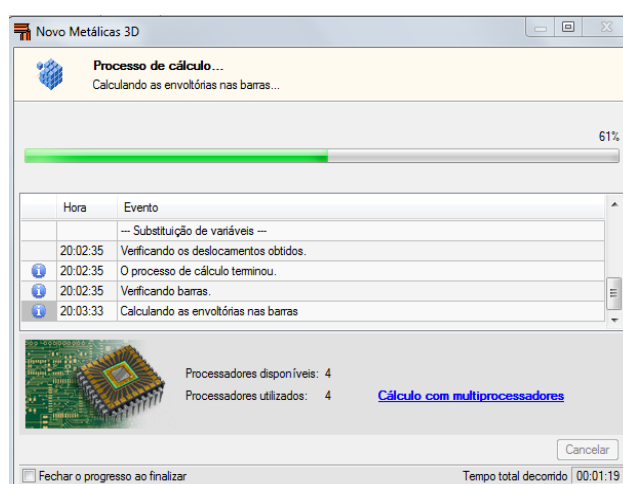


Figura 40. Software Metálicas 3D em processamento

Após a realização dos cálculos verifica-se a análise e o dimensionamento, por exemplo, observando-se os gráficos que demonstram as

reações da estrutura, seus deslocamentos entre outras. Os perfis que não atendem os cálculos devem ser modificados pelo usuário, procedendo novamente com os cálculos. Neste caso foram necessárias várias modificações e novos processamentos para que a estrutura chegasse a um resultado que atendesse às hipóteses de carregamento mais desfavoráveis com maior economia possível.

3.1.2.2. Verificação e dimensionamento de pilares no programa Pcalc

Nesta versão do programa Metálicas 3D não é possível fazer verificações para partes da obra composta por concreto armado, no caso os pilares de sustentação da cobertura metálica. Porém são gerados todos os esforços causados pelo peso da parte metálica, bem como os esforços causados pelo vento. Portanto, para dimensionamento dos pilares do galpão com cobertura metálica, foi utilizado o programa PCalc. Com os dados apresentados pelo programa, é possível determinar a seção e a armadura dos pilares. Na figura 41 é demonstrada a escolha da geometria dos pilares para o vento de 42 m/s. A seção de 25cm x 50cm, foi utilizada em todos os pilares do galpão.

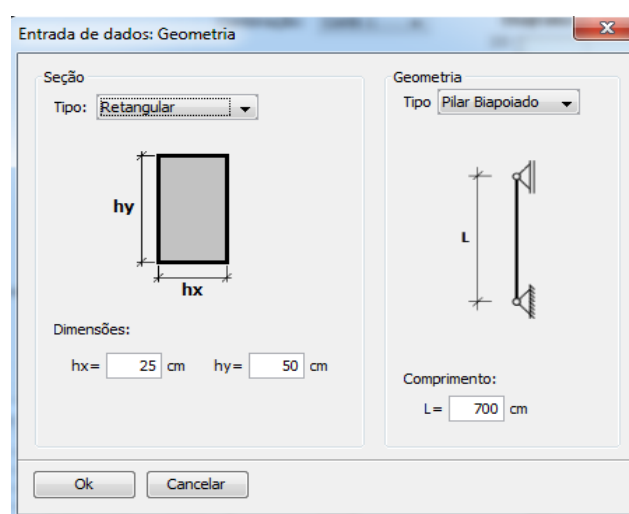


Figura 41. Entrada da geometria do pilar

Para o concreto e aço dos pilares foram utilizados para cálculo C35 (35 MPa) e CA 50 (500 MPa) respectivamente, como demonstrado na figura 42.

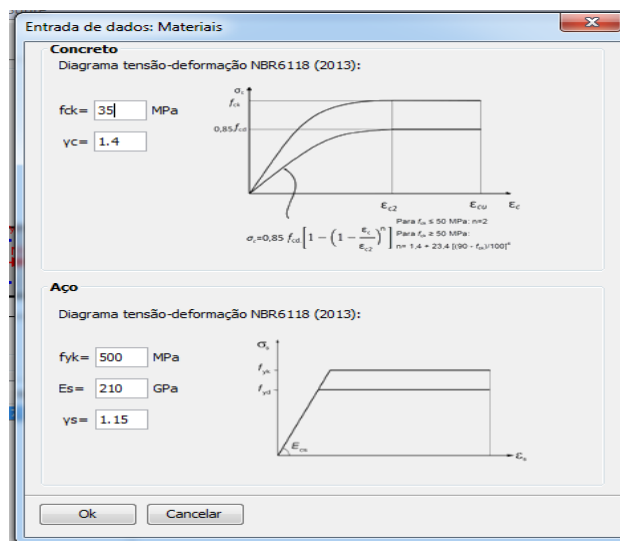


Figura 42. Entrada dos materiais

A figura 43 mostra a entrada dos dados da armação, onde é possível selecionar a quantidade de barras nx e ny e o (d') no dimensionamento do pilar. Caso necessite diferentes bitolas ou armaduras de segunda camada, é preciso configurar usando armaduras por coordenadas.

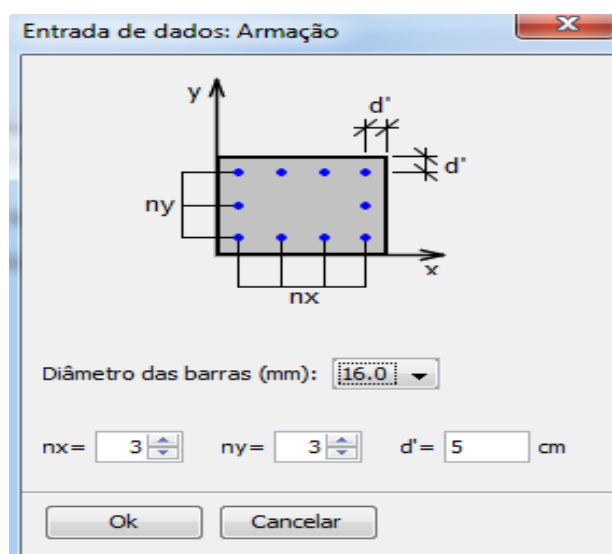
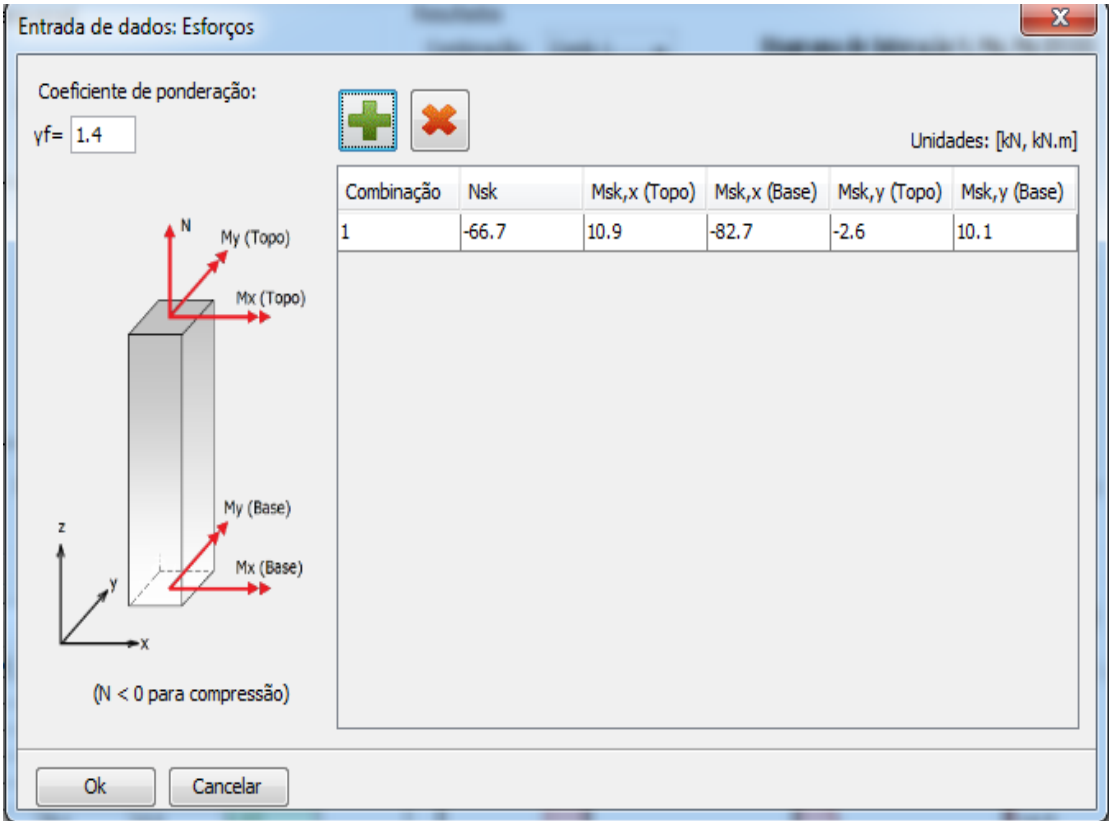


Figura 43. Entrada de dados da armação

A entrada dos esforços é denominada de combinações de ações na estrutura. Com ela, é possível entrar com a força normal N_{sk} e momentos M_{xk} e M_{yk} , unidades em KN (quilo newtons) e KN.m (quilo newtons vezes metro) respectivamente, que posteriormente serão majorados pelo coeficiente de segurança γ_f de 1,4. A figura 44 ilustra este procedimento.



Coeficiente de ponderação:
 $\gamma_f = 1.4$

Unidades: [kN, kN.m]

Combinação	Nsk	Msk,x (Topo)	Msk,x (Base)	Msk,y (Topo)	Msk,y (Base)
1	-66.7	10.9	-82.7	-2.6	10.1

(N < 0 para compressão)

Ok Cancelar

Figura 44. Entrada dos esforços proveniente do vento de 42 m/s

Dados referente ao dimensionamento dos pilares para vento de 42 m/s:

Concreto utilizado: C35 (35 MPa)

Aço utilizado: CA50 (500 MPa)

Cargas aplicadas:

$N_{sk} = -66,7$ KN

$M_{sk,x(topo)} = 10,9$ KN.m

$M_{sk,y(base)} = -82,7$ KN.m

$M_{sk,y(topo)} = -2,6$ KN.m

$$M_{sk,y}(\text{base}) = 10,1 \text{ KN.m}$$

Seção do pilar: 25x50 cm

Deformação: $\epsilon_s = 4,13$; $\epsilon_c = -2,45$

Tensão: $f_{cd} = -18,1 \text{ MPa}$

Na figura 45 é possível visualizar a seção transversal com a disposição do aço em seu interior, taxa de armadura, índice de esbeltez e o concreto utilizado para o cálculo.

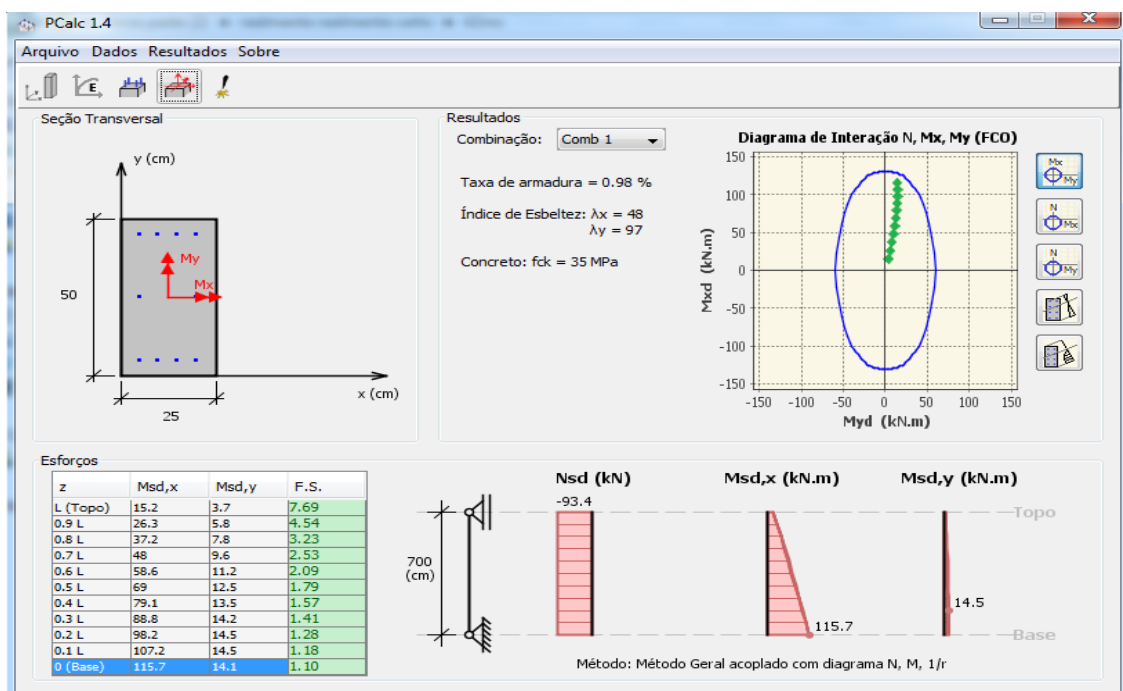


Figura 45. Resultados e diagramas para vento 42 m/s

Ainda referente aos resultados, pode-se notar nas figuras 46 e 47 o diagrama de interação Nsd, Msdx e Msdy. Nestes são mostrados pontos de acordo com a tabela de esforços pontualmente em uma região do pilar, indicando se eles estão dentro do limite da região delimitada em azul relativo a cargas máximas que o pilar pode suportar.

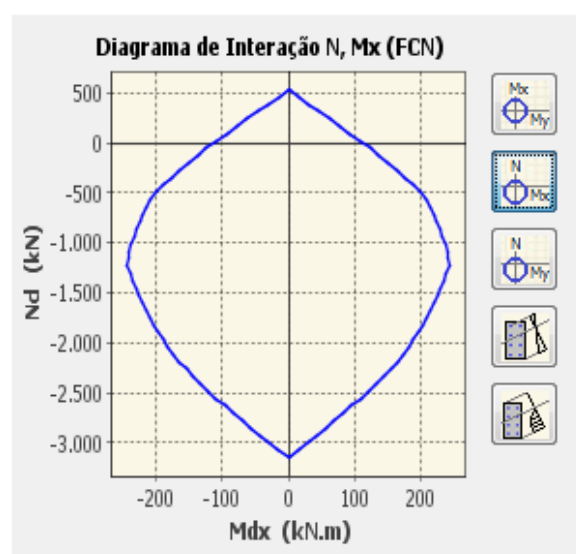


Figura 46. Diagrama de interação N, Mx para vento de 42 m/s

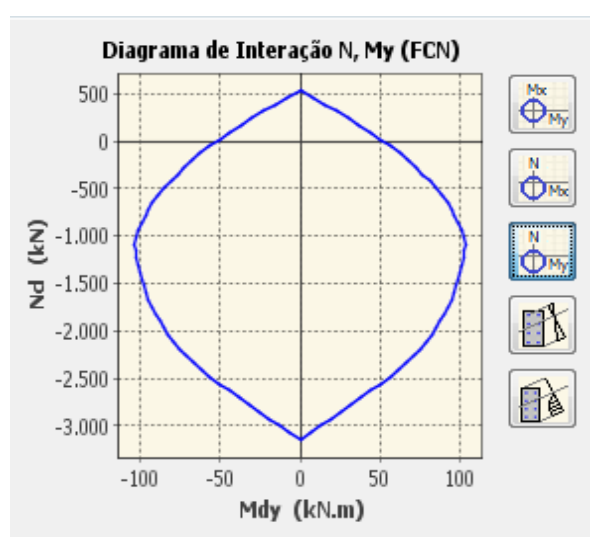


Figura 47. Diagrama de interação N, My para vento de 42 m/s

Conforme demonstrados nas figuras 48 e 49, referentes à deformação do pilar para vento de 42 m/s, é possível ver os valores de ϵ_s relacionados à deformação do aço e ϵ_c para deformação do concreto.

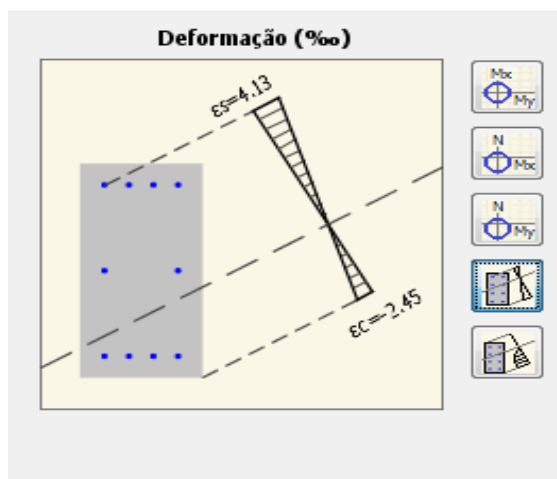


Figura 48. Deformação do pilar para vento de 42 m/s

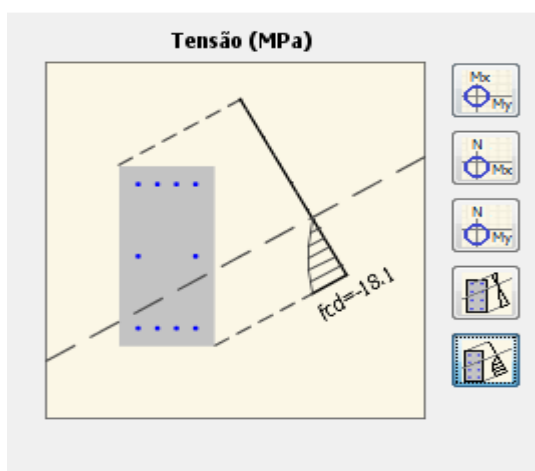


Figura 49. Tensão nos pilares de vento 42 m/s

3.2. DESENVOLVIMENTO DA SEGUNDA ANÁLISE

A segunda análise deste trabalho teve como finalidade estudar o mesmo galpão em uma situação hipotética, onde foi desconsiderado todo efeito de vento.

3.2.1. Dimensionamento do galpão pré-moldado para vento 0 m/s

Nesta etapa do estudo todas as forças devido ao vento foram retiradas da estrutura, sendo que para as terças restaram os carregamentos das telhas, cargas de montagem e peso próprio considerado na modelagem da obra. Para os pilares ficaram o carregamento do peso próprio da estrutura mais sobrecarga. O dimensionamento da estrutura pré-moldada considerando o vento com velocidade básica igual a 0 m/s foi realizado utilizando os mesmos softwares e critérios da obra onde o vento atuava com velocidade de 42 m/s, portanto os passos seguidos no cálculo estrutural não serão demonstrados neste capítulo.

A tabela 3 demonstra as cargas utilizadas para cálculo no software, considerando vento a 0 m/s.

POSICÃO	TIPO	VALOR	UNID	SENTIDO
Linear terça	TELHAS	0,026	tf/m	Z +
Linear terça	MONTAGEM	0,036	tf/m	Z +
Linear terça	UTILIZAÇÃO	0,010	tf/m	Z +

Tabela 3. Cargas para galpão com vento a 0 m/s

3.2.2. Dimensionamento do galpão com cobertura metálica para vento de 0 m/s

Para o galpão com cobertura metálica também foram retiradas as cargas de vento, tanto das terças como dos pilares, restando apenas os carregamentos de peso próprio, das telhas e carga de montagem. A figura 50 demonstra o valor das ações utilizadas para o cálculo da cobertura.

00 M/s						
Cargas em barras					USAR NO METAL 3D	
Cobertura	UTILIZAÇÃO	SCU1	NÓS INF (kg)	50	0,500	KN
Cobertura	MONTAGEM	SCU2	TERÇAS	0,25	0,363	kN/m
Cobertura	EQUIPAM	SCU3	NÓ CENTRAL (	400	4,000	KN

Figura 50. Valor das ações na cobertura - vento a 0 m/s

Igualmente à análise anterior, os pilares em concreto foram dimensionados e verificados com o auxílio do software PCalc, seguindo os mesmos critérios. Os dados mais importantes ao dimensionamento dos pilares para vento de 0 m/s estão dispostos a seguir.

Concreto utilizado: C35 (35 MPa)

Aço utilizado: CA50 (500 MPa)

Cargas aplicadas:

$$N_{sk} = -58,7 \text{ KN}$$

$$M_{sk,x}(\text{topo}) = -5,4 \text{ KN.m}$$

$$M_{sk,y}(\text{base}) = -9,3 \text{ KN.m}$$

$$M_{sk,y}(\text{topo}) = 0 \text{ KN.m}$$

$$M_{sk,y}(\text{base}) = 0 \text{ KN.m}$$

Seção do pilar: 25x25 cm

$$\text{Deformação: } \epsilon_s = 1,05; \epsilon_c = -0,91$$

$$\text{Tensão: } f_{cd} = -8,6 \text{ Mpa}$$

Todos os resultados quanto ao dimensionamento foram obtidos pelo programa PCalc, e como ilustrada na imagem 51, suportam as cargas aplicadas.

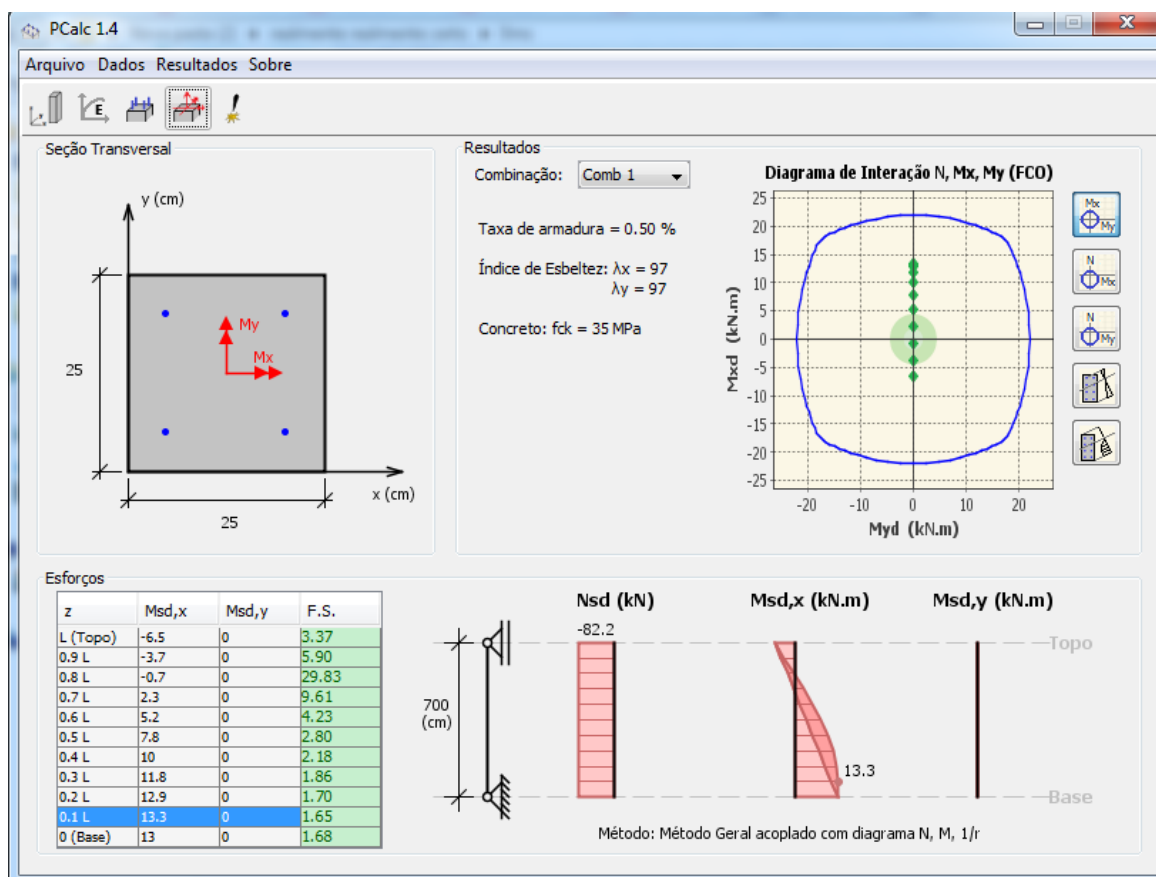


Figura 51. Resultados e diagramas para vento 0 m/s

3.3. TERCEIRA ANÁLISE – VENTOS DE 30m/s E 54m/s

Na terceira e última análise realizada neste estudo, o galpão foi calculado em situações de vento com diferença mais acentuada, sendo com as velocidades básicas de 30 m/s e de 54 m/s, ou seja, com variação de 12 m/s para mais e para menos em comparação à velocidade usualmente utilizada para região de Curitiba. Essas velocidades de vento foram escolhidas por serem próximas dos extremos de vento encontradas para o Brasil no mapa de isopletas da NBR 6123 (ABNT, 1988).

3.3.1. Dimensionamento do galpão pré-moldado

O dimensionamento das estruturas pré-moldadas na terceira análise foram realizados utilizando os mesmos softwares e mesmos critérios das análises anteriores, ou seja, pelos softwares Pré-Moldar e Oblíqua.

O que difere nesta análise é somente os esforços utilizados. As tabelas 4 e 5 demonstram as cargas utilizadas para análise, considerando a velocidade básica do vento a 30 m/s e a 54 m/s.

POSIÇÃO	TIPO	VALOR	UNID	SENTIDO
Linear terça	TELHAS	0,026	tf/m	z +
Linear terça	MONTAGEM	0,036	tf/m	z +
Linear terça	UTILIZAÇÃO	0,010	tf/m	z +
Linear terça ESQ	vento 01 (sucção)	-0,036	tf/m	z -
Linear terça	vento 02 (pressão)	0,005	tf/m	z +
Linear terça DIR	vento 03 (sucção)	-0,005	tf/m	z -
Pilar ESQ (p/ dentro)	vento 90°	0,170	tf/m	x +
Pilar DIR(p/ fora)	vento 90°	0,034	tf/m	x +
Pilar ESQ (p/ dentro)	vento 0°	-0,034	tf/m	x +
Pilar DIR (p/ fora)	vento 0°	0,034	tf/m	x +
Pilar DIR e ESQ eixo y	vento 0°	0,019	tf/m	y +

Tabela 4. Cargas para galpão com vento de 30 m/s

POSIÇÃO	TIPO	VALOR	UNID	SENTIDO
Linear terça	TELHAS	0,026	tf/m	z +
Linear terça	MONTAGEM	0,036	tf/m	z +
Linear terça	UTILIZAÇÃO	0,010	tf/m	z +
Linear terça ESQ	vento 01 (sucção)	-0,117	tf/m	z -
Linear terça	vento 02 (pressão)	0,016	tf/m	z +
Linear terça DIR	vento 03 (sucção)	-0,016	tf/m	z -
Pilar ESQ (p/ dentro)	vento 90°	0,550	tf/m	x +
Pilar DIR(p/ fora)	vento 90°	0,110	tf/m	x +
Pilar ESQ (p/ dentro)	vento 0°	-0,110	tf/m	x +
Pilar DIR (p/ fora)	vento 0°	0,110	tf/m	x +
Pilar DIR e ESQ eixo y	vento 0°	0,061	tf/m	y +

Tabela 5. Cargas para galpão com vento de 54 m/s

3.3.2. Dimensionamento da cobertura metálica

Seguindo o mesmo critério das análises anteriores, o cálculo e o dimensionamento da estrutura metálica foi realizado com os softwares Metálicas 3D e PCalc, diferenciando somente na composição das ações consideradas. Na figura 52 estão demonstrados os valores das ações usados para o cálculo da cobertura para vento com velocidade básica de 30 m/s.

30 M/S						
Cargas em barras					USAR NO METAL 3D	
Cobertura	UTILIZAÇÃO	SCU1	NÓS INF (kg)	50	0,500	KN
Cobertura	MONTAGEM	SCU2	TERÇAS	0,25	0,363	kN/m
Cobertura	EQUIPAM	SCU3	NÓ CENTRAL (	400	4,000	KN
Pórtico 2, Pórtico 3, Pórtico 4, Pórtico 5, Pórtico 6, Pórtico 7, Pórtico 8						
			kN/m	/ 5 m (KN/m2)	* 1,45 (KN/m terças)	
Cobertura DIR	Permanente telhas			0,1	0,145	10 Kg/m2
Cobertura DIR	Direção 90 graus		-1,25	-0,25	-0,363	-25 Kg/m2
Cobertura DIR	Direção -90 graus		-0,17	-0,034	-0,049	-3,4 Kg/m2
Cobertura DIR	Direção 0 graus (A) posição central	(A)	-0,51	-0,102	-0,148	-10,2 Kg/m2
Cobertura DIR	Direção 0 graus (A) posição extremo	(A)	-0,85	-0,17	-0,247	-17 Kg/m2
Cobertura DIR	Direção 180 graus posição central	central	0,17	0,034	0,049	3,4 Kg/m2
Cobertura DIR	Direção 180 graus posição extremo	extremo	0,17	0,034	0,049	3,4 Kg/m2
Cobertura ESQ	Permanente			0,1	0,145	10 Kg/m2
Cobertura ESQ	Direção 90 graus		-0,17	-0,034	-0,049	-3,4 Kg/m2
Cobertura ESQ	Direção -90 graus		-1,25	-0,25	-0,363	-25 Kg/m2
Cobertura ESQ	Direção 0 graus (A) posição central	(A)	-0,51	-0,102	-0,148	-10,2 Kg/m2
Cobertura ESQ	Direção 0 graus (A) posição extremo	(A)	-0,85	-0,17	-0,247	-17 Kg/m2
Cobertura ESQ	Direção 180 graus posição central		0,17	0,034	0,049	3,4 Kg/m2
Cobertura ESQ	Direção 180 graus posição extremo		0,17	0,034	0,049	3,4 Kg/m2

Figura 52. Valor das ações na cobertura - vento a 30 m/s

Os dados mais importantes ao dimensionamento dos pilares para vento de 30 m/s estão dispostos a seguir.

Concreto utilizado: C35 (35 MPa)

Aço utilizado: CA50 (500 MPa)

Cargas aplicadas:

$$N_{sk} = -63,5 \text{ KN}$$

$$M_{sk,x}(\text{topo}) = -10,1 \text{ KN.m}$$

$$M_{sk,y}(\text{base}) = -38,1 \text{ KN.m}$$

$$M_{sk,y}(\text{topo}) = -1,4 \text{ KN.m}$$

$$M_{sk,y}(\text{base}) = 10,6 \text{ KN.m}$$

Seção do pilar: 25x50 cm

Deformação: $\epsilon_s = 2,4$; $\epsilon_c = -1,67$

Tensão: $f_{cd} = -14 \text{ MPa}$

Os resultados e diagramas obtidos pelo programa PCalc para o vento de 30 m/s estão ilustrados na figura 53.

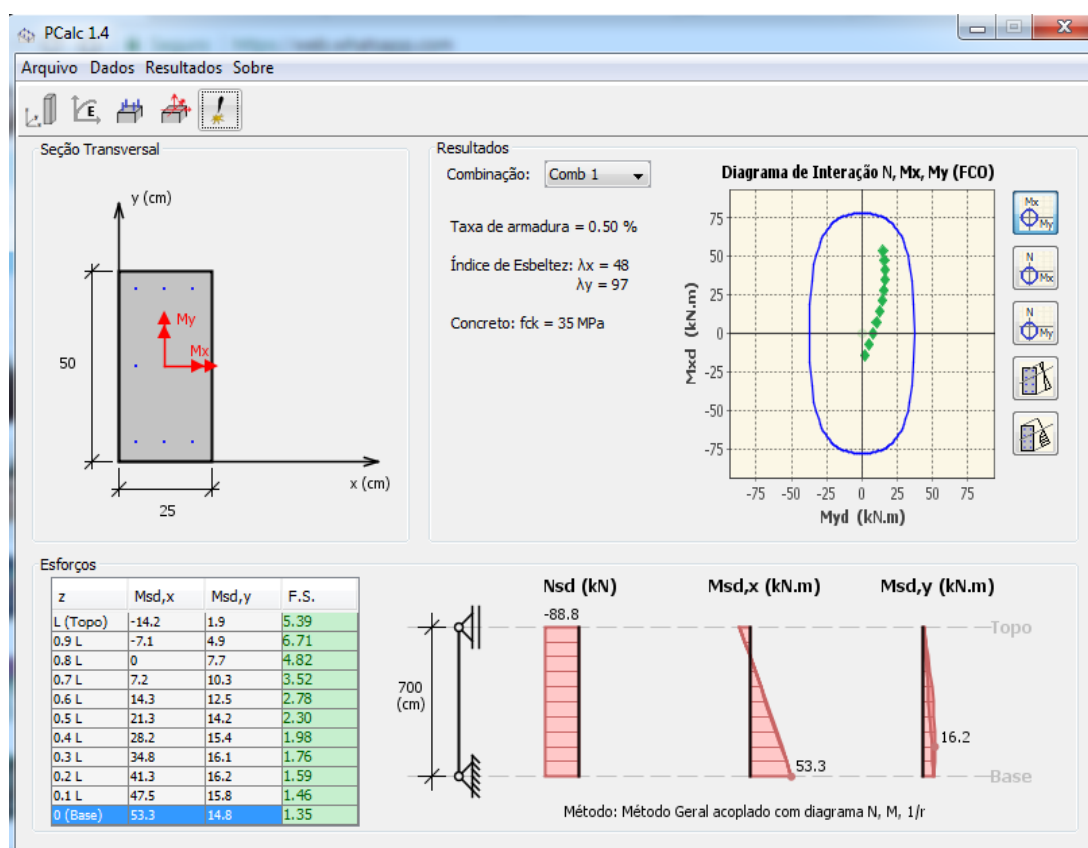


Figura 53. Resultados e diagramas para vento 30 m/s

Está demonstrado na figura 54 o resumo de materiais para a cobertura metálica calculada para vento com velocidade básica de 54 m/s através do software Metálicas 3D.

54 M/S						
Cargas em barras					USAR NO METAL 3D	
Cobertura	UTILIZAÇÃO	SCU1	NÓS INF	50	0,500	KN
Cobertura	MONTAGEM	SCU2	TERÇAS	0,25	0,363	kN/m
Cobertura	EQUIPAM	SCU3	NÓ CENTRAL	400	4,000	KN
Pórtico 2, Pórtico 3, Pórtico 4, Pórtico 5, Pórtico 6, Pórtico 7, Pórtico 8						
			kN/m	/ 5 m (KN/m2)	* 1,45 (KN/m terças)	
Cobertura DIR	Permanente telhas			0,1	0,145	10 Kg/m2
Cobertura DIR	Direção 90 graus		-4,06	-0,812	-1,177	-81,2 Kg/m2
Cobertura DIR	Direção -90 graus		-0,55	-0,11	-0,160	-11 Kg/m2
Cobertura DIR	Direção 0 graus (A) posição central	(A)	-1,65	-0,33	-0,479	-33 Kg/m2
Cobertura DIR	Direção 0 graus (A) posição extremo	(A)	-2,75	-0,55	-0,798	-55 Kg/m2
Cobertura DIR	Direção 180 graus posição central	central	0,55	0,11	0,160	11 Kg/m2
Cobertura DIR	Direção 180 graus posição extremo	extremo	0,55	0,11	0,160	11 Kg/m2
Cobertura ESQ	Permanente telhas		-	0,1	0,145	10 Kg/m2
Cobertura ESQ	Direção 90 graus		0,55	0,11	0,160	11 Kg/m2
Cobertura ESQ	Direção -90 graus		4,06	0,812	1,177	81,2 Kg/m2
Cobertura ESQ	Direção 0 graus (A) posição central	(A)	1,65	0,33	0,479	33 Kg/m2
Cobertura ESQ	Direção 0 graus (A) posição extremo	(A)	2,75	0,55	0,798	55 Kg/m2
Cobertura ESQ	Direção 180 graus posição central		0,55	0,11	0,160	11 Kg/m2
Cobertura ESQ	Direção 180 graus posição extremo		0,55	0,11	0,160	11 Kg/m2

Figura 54. Valor das ações na cobertura - vento a 54 m/s

Os dados mais importantes ao dimensionamento dos pilares em concreto com o auxílio do software Pcalc para vento de 54 m/s estão dispostos a seguir.

Concreto utilizado: C35 (35 MPa)

Aço utilizado: CA50 (500 MPa)

Cargas aplicadas:

$$N_{sk} = -82,2 \text{ KN}$$

$$M_{sk,x}(\text{topo}) = 19,7 \text{ KN.m}$$

$$M_{sk,y}(\text{base}) = -141,2 \text{ KN.m}$$

$$M_{sk,y}(\text{topo}) = -19 \text{ KN.m}$$

$$M_{sk,y}(\text{base}) = 70,7 \text{ KN.m}$$

Seção do pilar: 35x50 cm

Deformação: $\epsilon_s = 3,77$; $\epsilon_c = -2,58$

Tensão: $f_{cd} = -21,3 \text{ MPa}$

Todos os resultados foram obtidos pelo programa Pcalc, e como ilustrado na figura 55, suportam as cargas aplicadas.

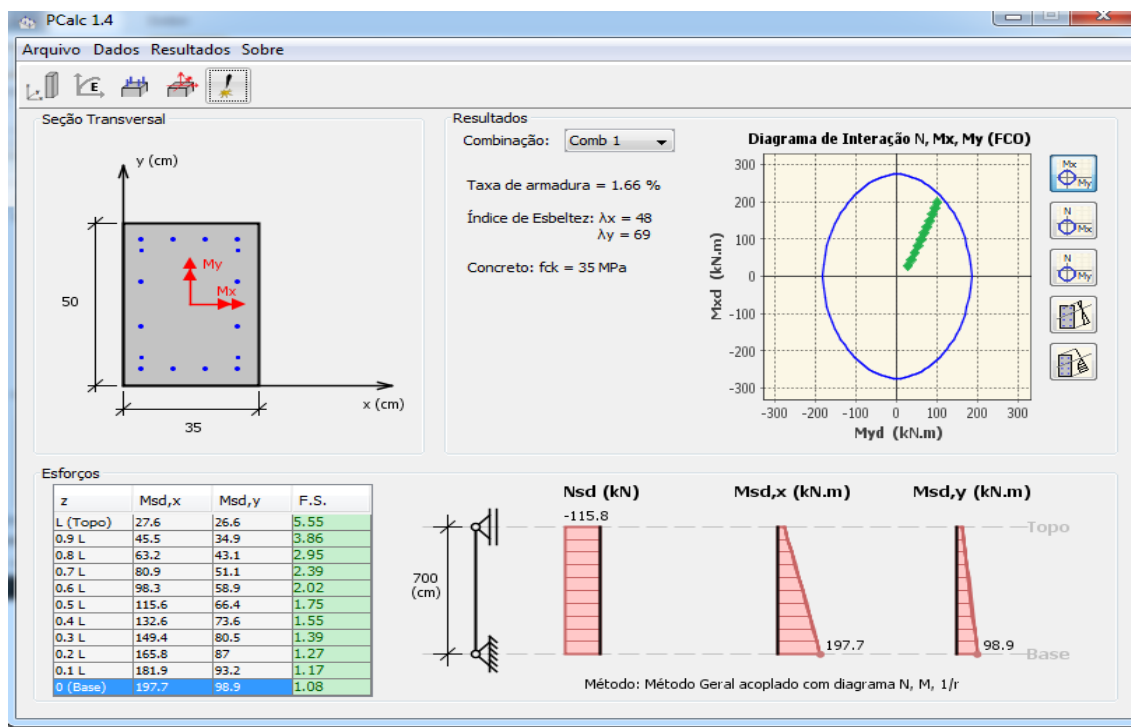


Figura 55. Resultados e diagramas para vento 54 m/s

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados os resultados acerca de todas as situações propostas no estudo, analisando a variação da viabilidade econômica para os diferentes tipos de estruturas e velocidades de vento estudadas.

4.1. RESULTADOS DA PRIMEIRA ANÁLISE

Para o galpão considerado totalmente em estrutura de concreto pré-moldado e calculado para ação do vento de 42 m/s, foi gerado um resumo do quantitativo dos materiais dimensionados, bem como o custo para cada material e o valor total da obra, esses dados estão apresentados na figura 56.

Resumo para galpão em cobertura pré-moldada VENTO= 42 m/s						
CUSTO DO AÇO	Kg / Pç	Qtde Pç	total kg	R\$ / kg		total aço
Pilares	150,32	18	2705,8	R\$ 5,43	R\$	14.688,22
Braços	114,01	18	2052,2	R\$ 5,43	R\$	11.140,26
Terças	12,45	128	1593,6	R\$ 5,43	R\$	8.650,86
			6351,5			
					Valor total do aço	R\$ 34.479,33
CUSTO DO CONCR.	vol unit m³	Qtde Pç	total m³	R\$ / m³		total concr.
Pilares	1,04	18	18,72	R\$ 1.530,58	R\$	28.652,40
Braços	0,703	18	12,654	R\$ 1.530,58	R\$	19.367,92
Terças	0,080	128	10,24	R\$ 1.530,58	R\$	15.673,11
			41,614			
Mat de fixação	R\$ 8.500,00				Valor total do concreto	R\$ 63.693,43
					Total galpão	R\$ 106.672,77
VALOR DA PEÇA	Aço		Concreto		Total PÇ	Total na obra
Pilar	R\$	816,01	R\$	1.591,80	R\$ 2.407,81	R\$ 43.340,62
Cobertua						
braço	R\$	618,90	R\$	1.076,00	R\$ 1.694,90	R\$ 30.508,18
terça	R\$	67,58	R\$	122,45	R\$ 190,03	R\$ 24.323,97
Mat de fixação						R\$ 8.500,00
						R\$ 63.332,15

Figura 56. Resumo do galpão pré-moldado - 42 m/s

Na figura 57 podem ser visualizados o resumo e os valores dos materiais utilizados para o galpão com cobertura metálica, bem como o custo final para as peças utilizadas na estrutura.

Resumo para galpão em cobertura metálica VENTO= 42 m/s					
CUSTO DO AÇO	Kg / Pç	Qtde Pç	total kg	R\$ / kg	total aço
Pilar pré-moldado	99,10	18	1783,8	R\$ 5,43	R\$ 9.683,56
CUSTO DO CONCR.	vol unit m³	Qtde Pç	total m³	R\$ / m³	total concr.
Pilar pré-moldado	1,000	18	18	R\$ 1.530,58	R\$ 27.550,39
Valor total dos pilares				R\$	37.233,95
Cobertura metálica	peso (kg)	custo por kg	total cob met.		
Perfis laminados	63	R\$ 10,19	R\$	641,97	
Perfis dobrados	9430	R\$ 10,19	R\$	96.091,70	
Valor total da cobertura metálica				R\$	96.733,67
Total galpão				R\$	133.967,62

Figura 57. Resumo do galpão com cobertura metálica - 42 m/s

De acordo com os resultados demonstrados para o vento de 42 m/s, o galpão inteiramente em concreto pré-moldado teve um custo menor em relação ao galpão com cobertura metálica. Com o valor de R\$ 106.672,77, a estrutura pré-moldada ficou R\$ 27.294,85 abaixo do valor do galpão com cobertura metálica que totalizou R\$ 133.967,62, gerando uma economia de 20,4%.

4.2. RESULTADOS DA SEGUNDA ANÁLISE

Para o galpão em concreto pré-moldado e com vento de 0 m/s, estão apresentados na figura 58 o resumo do quantitativo dos materiais, o custo para cada material e o valor total da obra.

Resumo para galpão em cobertura pré-moldada VENTO= 0 m/s							
CUSTO DO AÇO		Kg / Pç	Qtde Pç	total kg	R\$ / kg	total aço	
Pilares		68,43	18	1231,7	R\$ 5,43	R\$	6.686,50
Braços		102,86	18	1851,5	R\$ 5,43	R\$	10.050,76
Terças		12,45	128	1593,6	R\$ 5,43	R\$	8.650,86
				4676,8			
Valor total do aço						R\$	25.388,12
CUSTO DO CONCR.		vol unit m³	Qtde Pç	total m³	R\$ / m³	total concr.	
Pilares		0,85	18	15,3	R\$ 1.530,58	R\$	23.417,83
Braços		0,703	18	12,654	R\$ 1.530,58	R\$	19.367,92
Terças		0,080	128	10,2	R\$ 1.530,58	R\$	15.673,11
				38,194			
Mat de fixação		R\$	8.500,00			Valor total do concreto	R\$ 58.458,86
Total galpão						R\$	92.346,98
VALOR DA PEÇA		Aço		Concreto		Total PÇ	
Pilar		R\$	371,47	R\$	1.300,99	R\$	1.672,46
							R\$ 30.104,33
Cobertua							
braço		R\$	558,38	R\$	1.076,00	R\$	1.634,37
							R\$ 29.418,68
terça		R\$	67,58	R\$	122,45	R\$	190,03
							R\$ 24.323,97
Mat de fixação							R\$ 8.500,00
							R\$ 62.242,65

Figura 58. Resumo do galpão com cobertura pré-moldada - 0 m/s

A figura 59 mostra o resumo dos materiais calculados para obra do galpão com cobertura metálica para o vento de 0 m/s.

Resumo para galpão em cobertura metálica VENTO= 0 m/s					
CUSTO DO AÇO	Kg / Pç	Qtde Pç	total kg	R\$ / kg	total aço
Pilar pré-moldado	28,28	18	509,0	R\$ 5,43	R\$ 2.763,21
CUSTO DO CONCR.	vol unit m³	Qtde Pç	total m³	R\$ / m³	total concr.
Pilar pré-moldado	0,500	18	9	R\$ 1.530,58	R\$ 13.775,19
Valor total dos pilares				R\$	16.538,40
Cobertura metálica			peso (kg)	custo por kg	total
Perfis laminados			190,5	R\$ 10,19	R\$ 1.941,20
Perfis dobrados			7074	R\$ 10,19	R\$ 72.084,06
Valor total da cobertura metálica				R\$	74.025,26
Total galpão				R\$	90.563,65

Figura 59. Resumo do galpão com cobertura metálica - 0 m/s

De acordo com os resultados demonstrados para o vento de 0 m/s, o galpão inteiramente em concreto pré-moldado teve um custo maior em comparação ao galpão com pilares pré-moldados e cobertura metálica. Com o custo de R\$ 92.346,98, a estrutura pré-moldada ficou R\$ 1.783,32 acima do valor do galpão com cobertura metálica que totalizou R\$ 90.563,65. Portanto, para a análise sem a consideração do vento, o galpão com cobertura metálica acabou tendo uma economia de 2,2% em relação ao outro tipo de estrutura.

Como é de conhecimento dos calculistas de estruturas metálicas, e observado durante o dimensionamento desta pesquisa, para coberturas metálicas o vento acaba sendo o maior responsável pelos esforços. As coberturas deste tipo normalmente têm pouco peso próprio, havendo a necessidade se serem mais resistentes à sucção causada pelo vento. Nesta análise, desconsiderando a atuação do vento, é possível observar diretamente este efeito, onde os resultados se mostraram mais favoráveis economicamente para cobertura metálica do que para cobertura em concreto pré-moldado, que tem no próprio as principais ações.

4.3. RESULTADOS DA TERCEIRA ANÁLISE

A seguir serão apresentados os resultados para os dois tipos de cobertura estudados em relação aos ventos 30 m/s e 54 m/s.

4.3.1. Análise dos resultados para o vento de 30 m/s

Estão apresentados na figura o 60 resumo do quantitativo dos materiais, o custo para cada material e o valor total da obra para o galpão em concreto pré-moldado e com vento de 30 m/s.

Resumo para galpão em cobertura pré-moldada VENTO= 30 m/s													
CUSTO DO AÇO		Kg / Pç		Qtde Pç		total kg		R\$ / kg		total aço			
Pilares		97,96		18		1763,3		R\$ 5,43		R\$ 9.571,97			
Braços		103,69		18		1866,4		R\$ 5,43		R\$ 10.131,86			
Terças		12,45		128		1593,6		R\$ 5,43		R\$ 8.650,86			
						5223,3							
						Valor total do aço		R\$		28.354,68			
CUSTO DO CONCR.		vol unit m³		Qtde Pç		total m³		R\$ / m³		total concr.			
Pilares		1,04		18		18,72		R\$ 1.530,58		R\$ 28.652,40			
Braços		0,703		18		12,654		R\$ 1.530,58		R\$ 19.367,92			
Terças		0,080		128		10,24		R\$ 1.530,58		R\$ 15.673,11			
						41,614							
Mat de fixação		R\$ 8.500,00								Valor total do concreto		R\$ 63.693,43	
						Total galpão		R\$		100.548,12			
VALOR DA PEÇA		Aço		Concreto		Total PÇ		Total na obra					
Pilar		R\$	531,78	R\$	1.591,80	R\$	2.123,58			R\$	38.224,37		
Cobertua													
braço		R\$	562,88	R\$	1.076,00	R\$	1.638,88			R\$	29.499,78		
terça		R\$	67,58	R\$	122,45	R\$	190,03			R\$	24.323,97		
Mat de fixação										R\$	8.500,00		
										R\$	62.323,75		

Figura 60. Resumo do galpão pré-moldado - 30 m/s

Assim como para estrutura em concreto pré-moldado, a figura 61 contém o resumo do quantitativo dos materiais, o custo para cada material e o valor total para o galpão com vento de 30 m/s.

Resumo para galpão em cobertura metálica VENTO= 30 m/s					
CUSTO DO AÇO	Kg / Pç	Qtde Pç	total kg	R\$ / kg	total aço
Pilar pré-moldado	56,15	18	1010,6	R\$ 5,43	R\$ 5.486,21
CUSTO DO CONCR.	vol unit m³	Qtde Pç	total m³	R\$ / m³	total concr.
Pilar pré-moldado	1,000	18	18	R\$ 1.530,58	R\$ 27.550,39
Valor total dos pilares					R\$ 33.036,60
Cobertura metálica	peso (kg)	custo por kg	total		
Perfis laminados	63	R\$ 10,19	R\$	641,97	
Perfis dobrados	7654	R\$ 10,19	R\$	77.994,26	
Valor total da cobertura metálica					R\$ 78.636,23
Total galpão					R\$ 111.672,83

Figura 61. Resumo do galpão com cobertura metálica - 30 m/s

Observando os resultados demonstrados para o vento de 30 m/s, é possível identificar uma diferença entre os tipos estudados. O galpão inteiramente em concreto pré-moldado teve um custo menor em relação ao galpão com cobertura metálica. Com o valor de R\$ 100.548,12, a estrutura pré-moldada ficou R\$ 11.124,71 abaixo do valor do galpão com cobertura metálica que totalizou R\$ 111.672,83. Essa diferença gerou uma economia de 10%, beneficiando o uso do pré-moldado em toda estrutura neste caso.

4.3.2. Análise dos resultados para o vento de 54 m/s

A figura 62 mostra o resumo dos materiais, bem como seus custos calculados para obra do galpão com cobertura pré-moldada para o vento de 54 m/s.

Resumo para galpão em cobertura pré-moldada VENTO= 54 m/s							
CUSTO DO AÇO		Kg / Pç	Qtde Pç	total kg	R\$ / kg	total aço	
Pilares		153,99	18	2771,8	R\$ 5,43	R\$ 15.046,82	
Braços		118,19	18	2127,4	R\$ 5,43	R\$ 11.548,70	
Terças		12,45	128	1593,6	R\$ 5,43	R\$ 8.650,86	
				6492,8			
Valor total do aço						R\$ 35.246,38	
CUSTO DO CONCR.		vol unit m³	Qtde Pç	total m³	R\$ / m³	total concr.	
Pilares		1,24	18	22,32	R\$ 1.530,58	R\$ 34.162,48	
Braços		0,703	18	12,654	R\$ 1.530,58	R\$ 19.367,92	
Terças		0,080	128	10,24	R\$ 1.530,58	R\$ 15.673,11	
				45,214			
Mat de fixação	R\$ 8.500,00	Valor total do concreto				R\$ 69.203,51	
Total galpão						R\$ 112.949,89	
VALOR DA PEÇA		Aço		Concreto		Total PÇ	Total na obra
Pilar	R\$	835,93	R\$	1.897,92	R\$	2.733,85	R\$ 49.209,30
Cobertua							
braço	R\$	641,59	R\$	1.076,00	R\$	1.717,59	R\$ 30.916,62
terça	R\$	67,58	R\$	122,45	R\$	190,03	R\$ 24.323,97
Mat de fixação							R\$ 8.500,00
							R\$ 63.740,59

Figura 62. Resumo do galpão pré-moldado - 54 m/s

É mostrado na figura 63 o resumo dos materiais, bem como seus custos calculados para obra do galpão com cobertura metálica para o vento de 54 m/s.

Resumo para galpão em cobertura metálica VENTO= 54 m/s						
CUSTO DO AÇO	Kg / Pç	Qtde Pç	total kg	R\$ / kg		total aço
Pilar pré-moldado	213,78	18	3848,1	R\$ 5,43	R\$	20.889,38
CUSTO DO CONCR.	vol unit m³	Qtde Pç	total m³	R\$ / m³		total concr.
Pilar pré-moldado	1,400	18	25,2	R\$ 1.530,58	R\$	38.570,54
Valor total dos pilares					R\$	59.459,92
Cobertura metálica			peso (kg)	custo por kg		total
Perfis laminados			407	R\$ 10,19	R\$	4.147,33
Perfis dobrados			10838	R\$ 10,19	R\$	110.439,22
Valor total da cobertura metálica					R\$	114.586,55
Total galpão					R\$	174.046,47

Figura 63. Resumo do galpão com cobertura metálica - 54 m/s

De acordo com os resultados demonstrados para o vento de 54 m/s, o galpão inteiramente em concreto pré-moldado teve um custo menor em relação ao galpão com cobertura metálica. Com o valor de R\$ 112.949,89, a estrutura pré-moldada ficou R\$ 61.096,58 abaixo do valor do galpão com cobertura metálica que totalizou R\$ 174.046,47, gerando uma economia de 35,1%.

4.4. COMPARAÇÃO ENTRE AS AÇÕES DE VENTO

Após a apresentação das três análises comparando diretamente as estruturas pré-moldadas das estruturas metálicas para cada velocidade básica de vento em separado, pode ser de grande utilidade fazer uma comparação entre as estruturas e a variação de vento de forma geral. A seguir estão demonstradas as análises para a tendência dos custos com a variação progressiva da velocidade do vento.

4.4.1. Análise comparativa do galpão completo

Na tabela 6 e na figura 64 está demonstrada a variação dos custos das obras estudadas em relação às diferentes velocidades de vento propostas. Pode-se notar uma tendência de alta dos valores finais em situações em que o vento considerado é maior. O gráfico ainda ilustra em separado os tipos de obra, onde pode ser vista a variação dos custos do galpão com cobertura metálica representado pela linha pontilhada mostrando uma alta maior dos custos em relação ao galpão com cobertura em concreto pré-moldado, o qual está representado pela linha contínua.

VARIAÇÃO DO VENTO	Galpão com cob. em Concreto	Galpão com cob. Metálica
0 m/s	R\$ 92.346,98	R\$ 90.563,65
30 m/s	R\$ 100.548,12	R\$ 111.672,83
42 m/s	R\$ 106.672,77	R\$ 133.967,62
54 m/s	R\$ 112.949,89	R\$ 174.046,47

Tabela 6. Comparação entre galpões

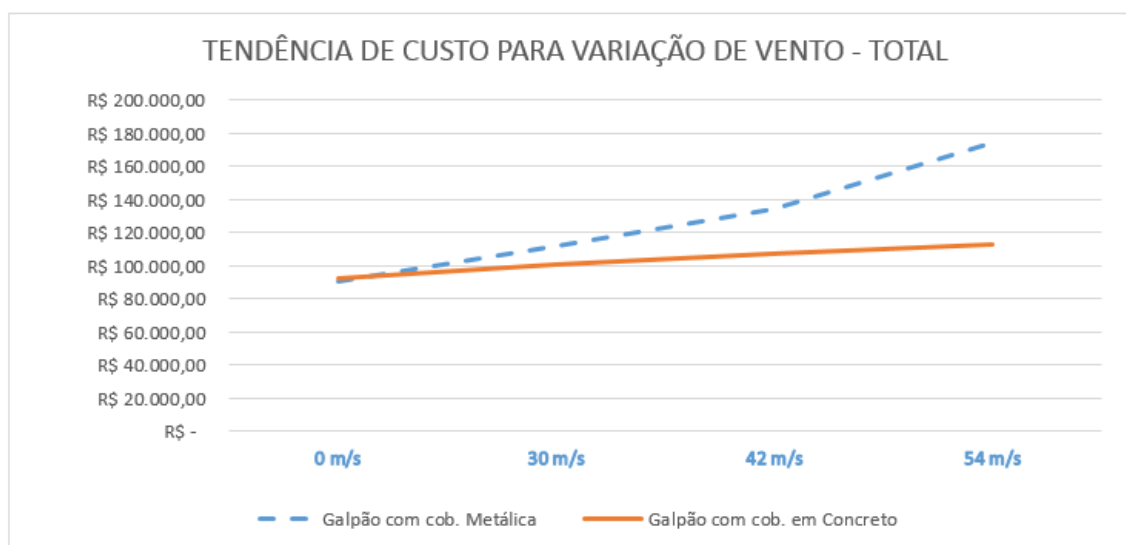


Figura 64. Gráfico de custo para todos tipos de obra

De acordo com os resultados do estudo e resumidos no gráfico, pode-se dizer que, para este caso, o galpão contendo cobertura em estrutura metálica

tendem a ter custo mais competitivo em menores velocidades de vento em relação ao galpão com cobertura em concreto pré-moldado, porém quando a ação do vento tende a aumentar, os esforços resultantes na estrutura metálica fazem com esta tenha que ser dimensionada para suportar as cargas maiores de sucção, fazendo com que aumente acentuadamente a quantidade de material e mão de obra utilizados, elevando por consequência seus custos.

Observa-se ainda, que as coberturas em concreto pré-moldado não aumentaram seu custo de maneira tão expressiva se comparado às metálicas, como explicação para esta análise considerou-se o fato de que elas possuem um peso próprio maior, sendo dimensionadas predominantemente para suportar as cargas da própria estrutura e as cargas adicionais como, telha, montagem e de utilização, sendo que os pilares respondem pelo maior aumento de custo por conta do dimensionamento ser realizado em grande parte para suportar os momentos devido a esforços horizontais, proveniente dos ventos.

4.4.2. Análise comparativa entre os pilares

A tabela 7 juntamente com a figura 65 demonstram a evolução de custo dos pilares para os tipos de obra estudados. Os pilares para cobertura metálica estão representados graficamente pela linha pontilhada azul, enquanto os pilares para cobertura em concreto pré-moldado estão representados pela linha contínua na cor laranja.

VARIAÇÃO DO VENTO	Pilares para cob. em Concreto	Pilares para cob. Metálica
0 m/s	R\$ 30.104,33	R\$ 16.538,40
30 m/s	R\$ 38.224,37	R\$ 33.036,60
42 m/s	R\$ 43.3,62	R\$ 37.233,95
54 m/s	R\$ 49.209,30	R\$ 59.459,92

Tabela 7. Comparação entre pilares

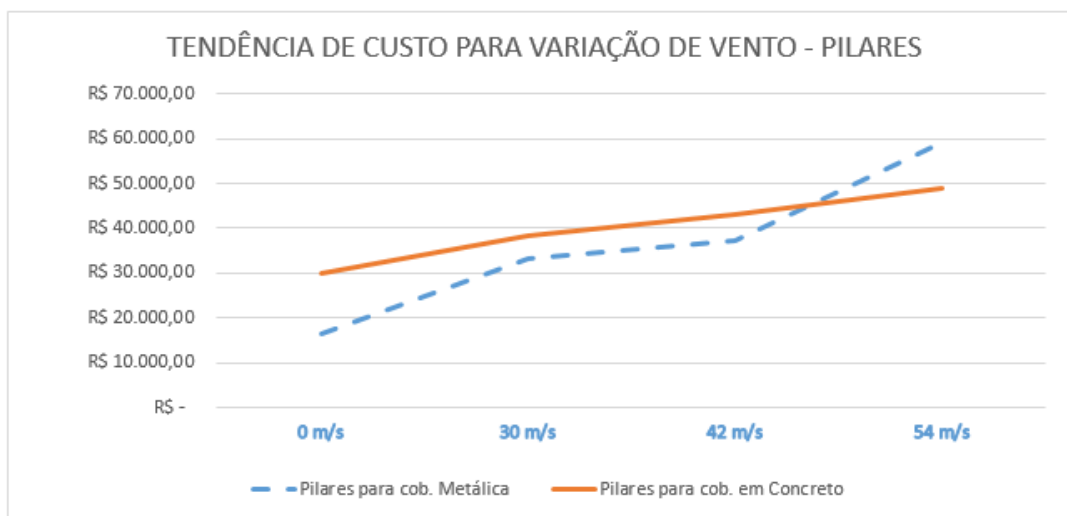


Figura 65. Gráfico de custo para os pilares de todas obras

Analisando de maneira resumida somente os pilares do galpão estudado, observa-se uma alta maior dos custos dos mesmos para cobertura metálica, aumentando gradativamente com a velocidade do vento, tendendo a atingir ou superar os custos dos pilares para cobertura pré-moldada somente com ventos próximos a 50 m/s ou mais.

4.4.3. Análise comparativa entre as coberturas

Quando se analisa os dois tipos de cobertura em separado das demais partes da obra, pode ser observado como se comportam as variações dos custos em relação ao aumento da velocidade do vento. Podem ser observados os valores na tabela 8.

VARIAÇÃO DO VENTO	Cobertura em Concreto	Cobertura Metálica
0 m/s	R\$ 62.242,65	R\$ 74.025,26
30 m/s	R\$ 62.323,75	R\$ 78.636,23
42 m/s	R\$ 63.332,15	R\$ 96.733,67
54 m/s	R\$ 63.740,59	R\$ 114.586,55

Tabela 8. Comparação entre coberturas

No gráfico da figura 66, os valores para cobertura metálica estão representados pela linha pontilhada, enquanto a cobertura em concreto pré-moldado pela linha contínua.

Observando-se o gráfico, percebe-se que a cobertura metálica do galpão estudado, demonstra custos mais elevados em todas situações de vento propostas. Nota-se ainda um aumento mais significativo em relação às maiores velocidades de vento se comparado com a cobertura em concreto, indicando que no dimensionamento das coberturas metálicas deve ser considerada a grande importância desse tipo de ação.

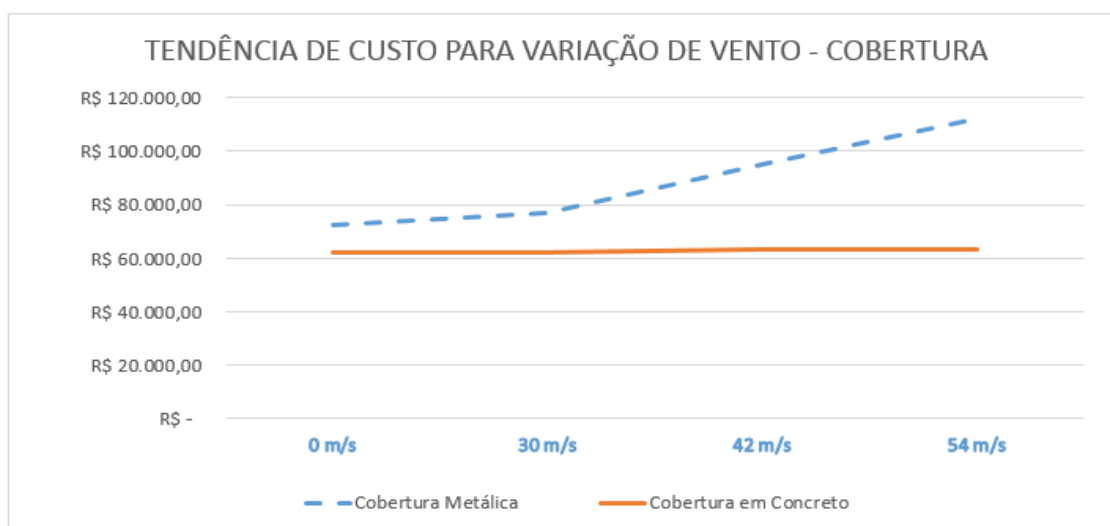


Figura 66. Gráfico de custo para as coberturas de todas obras

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo estão apresentadas as considerações finais acerca do estudo realizado, bem como sugestões para trabalhos futuros relacionados com o tema.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os resultados obtidos, pode-se dizer que foram alcançados os objetivos pré-estabelecidos no início deste trabalho, onde foi possível analisar toda influência causada pela ação do vento nos tipos de estruturas estudadas, possibilitando um melhor entendimento da variação dos custos para as diferentes condições propostas.

De maneira geral, o estudo mostrou que as obras contendo cobertura em estrutura metálica tendem a ter custo mais elevado em condições de vento mais acentuadas em relação às estruturas com cobertura em concreto pré-moldado, isto é explicado pelo aumento dos esforços causados pelo vento na estrutura metálica, necessitando dimensioná-las para suportar as solicitações devido às cargas de sucção, o que não acontece tão acentuadamente em coberturas de concreto pré-moldado pois elas possuem um peso próprio maior, tendendo a serem dimensionadas para suportar as solicitações geradas pelas cargas da própria estrutura e pelas cargas adicionais maiores que o vento.

Deve-se observar porém, que este estudo delimitou-se apenas a um galpão com dimensões específicas e, portanto, podem acontecer variações mais expressivas dos resultados se as mesmas condições forem aplicadas a galpões de diferentes vãos, comprimento e altura. Outro fator que deve ser observado são as condições de vento nas velocidades básicas de 30 m/s e 54 m/s, por serem

aplicadas neste estudo para a realidade de custo para região de Curitiba, podendo variar para outras regiões, onde essas condições de vento podem de fato ocorrer.

5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Devido ao fato desse estudo ter sido delimitado para um galpão com medidas específicas, não se observou como poderia ter sido a resposta para casos com dimensões variadas. Recomenda-se para um estudo futuro, a delimitação apenas da velocidade do vento para uma única região, fazendo com que possa ser comparado os resultados obtidos para a variação principalmente da altura e dos vãos considerados.

Nos resultados obtidos neste estudo não se consideraram os valores referentes às fundações, portanto outra pesquisa que pode ser feita para completar este trabalho, seria um estudo que resulte nos custos referentes a essa parte da estrutura, considerando as opções de vento aqui propostas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma Brasileira NBR 6123** - Forças devido ao vento em edificações, 1988.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma Brasileira NBR 8800** - Projeto de estrutura de aço e de estruturas mistas de aço e de concreto de edifícios, 2008.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma Brasileira NBR 9062** - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, 2017.

ACKER, Arnold Van. **Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto**. FIB. 2002. Tradução Marcelo de Araújo Ferreira. ABCIC, 2003.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Norma Americana A 307** – Standard Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60000 PSI Tensile Strength, 2014.

BRUMATI, O. D. **Uso de Pré-Moldado: Estudo e Viabilidade**. 2008. 54f. Monografia (Especialista na Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais - Vitória. ES. 2008.

FARIA, R. – **Desenvolvimento metálico**. Revista Técnica, Edição 138, 2008. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/138/desenvolviment-to-metalico-287578-1.aspx>. Acesso em 03/04/2017 às 48:45 horas.

GAYLORD, H.E. **Desing of steel structures**. Volume 3. New York. 1992.

LEITE, D. F. **Análise dos Esforços atuantes em um Galpão Metálico devido à ação do vento**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal da Paraíba. Joao Pessoa, 2016

MELO, C.E.E. **Manual Munte de Projetos Pré-Fabricados de Concreto**. São Paulo: ED. PINI, 2007.

OLIVEIRA, L. F. de. **Análise crítica de sistemas estruturais utilizando soluções em concreto pré-moldado**. Monografia (Graduação em Engenharia civil), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

ORDONÉZ, J. A. F. **Pre-fabricacion: teoría y práctica**. Editores Técnicos Asociados. v.1, Barcelona, 1974.

PEDERIVA Jr., P. F. **Comparação dos custos envolvidos na construção de pavilhões com estruturas pré-moldadas e moldadas *in loco***. TCC (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2009.

PFEIL, W. **Estruturas de aço, dimensionamento prático**. Volume 8. Rio de Janeiro, LTC, 2009.

QUITES, A. M. DUTRA, J.C. **Tecnologia da soldagem a arco voltaico**. Florianópolis: EDEME, 1979.

SALMON, C.G. JONHSON, J.E. **Steel structures: design and behavior**. Volume 4. New York. Harper and Row, 1996.

SANTOS, A. P. **Análise estrutural de galpões atirantados de concreto pré-moldado**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2010.

SERRA, S. M. FERREIRA, M. A. POGOZZO, B. N. **Evolução dos pré-fabricados de concreto**. In: Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto pré-moldado, 1. 2005. São Carlos: UFSC, 2005.

VALENCIANI, V.C. **Ligações em estruturas de aço**. Dissertação de Mestrado. Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. SP. 1997

VASCONCELOS, A. C. **O Concreto no Brasil: Pré-fabricação, monumentos, fundações**. Volume III. São Paulo: Nobel, 2002.

ZUCHETTI, M. **Execução de estruturas de concreto em elementos pré-fabricados**. Proposta de método para organização de processos visando redução

no tempo de ciclo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2013.