

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
CELSO SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ

DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENADORIA DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA

DISSERTAÇÃO

CONTRIBUIÇÃO À ANÁLISE ESTRUTURAL DE CASAS POPULARES COM
ESTRUTURA METÁLICA ATRAVÉS DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Francisco de Assis Corrêa

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TECNOLOGIA

Pedro Manuel Calas Lopes Pacheco, D.Sc.
Orientador

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL.

SETEMBRO / 2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	01
I - NECESSIDADE DA RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DAS HABITAÇÕES POPULARES NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO E O USO DO AÇO	04
I.1. Habitações populares e o problema social no município do Rio de Janeiro	04
I.2. O aço como material de construção de moradias	09
II – CASO ESTUDADO USITETO/POPMETAL	14
II.1. Projeto popmetal	17
III – ANÁLISE ESTRUTURAL SEGUNDO A NORMA NBR 8800	21
III.1. Principais características	21
III.2. Tipos de carregamentos	21
III.3. Dimensionamento estrutural com detalhamento	26
III.4. Colunas	31
III.5. Ligações	35
III.6. Fundações	41
IV – ANÁLISE ESTRUTURAL UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS	49
IV.1. A Simulação Pelo Método de Elementos Finitos	49
IV.2. Modelos dos projetos USIMINAS e POPMETAL	50
V – SIMULAÇÕES NUMÉRICAS	63
VI - CONCLUSÃO	70
VII - REFERÊNCIAS	74
VIII - ANEXOS	
IX – FOLHA DE APROVAÇÃO	

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

C824 Corrêa, Francisco de Assis

Contribuição à análise estrutural de casas populares com estrutura metálica através do método dos elementos finitos / Francisco de Assis Corrêa —2009.

xiii, 77f. + Anexos: il. col., plantas, grafos., tabs. ;enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2009.

Bibliografia : f.74-77

Orientador : Pedro Manuel Calas Lopes Pacheco

1. Teoria das estruturas 2. Método dos elementos finitos 3. Habitação popular-Inovações tecnológicas-Projetos e construção-Rio de Janeiro(RJ)

I. Pacheco, Pedro Manuel Calas Lopes (orient.) II. Título.

CDD 624.171

Dedico este trabalho ao meu pai, onde quer que ele esteja. A minha mãe, e ao meu irmão Sergio Corrêa que sempre me incentiva e apóia com entusiasmo em todas as minhas empreitadas.

Obrigado!

Agradecimentos

A todo corpo docente e administrativo da pós-graduação, e aos meus colegas de curso.

Ao meu orientador, que com muita sabedoria e paciência me conduziu com segurança por este caminho.

E a Deus, por me ajudar a superar os tantos obstáculos!

*“É por retomar o antigo que aprendemos o novo, e assim nos tornamos mestre”
Confúcio (551-479 a .C) Filósofo chinês.*

Resumo da dissertação submetida ao DIPPG/CEFET-RJ como parte integrante dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em tecnologia (M.T.)

CONTRIBUIÇÃO À ANÁLISE ESTRUTURAL DE CASAS POPULARES COM ESTRUTURA METÁLICA ATRAVÉS DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Francisco de Assis Corrêa

Setembro / 2009

Orientador: Pedro Manuel Calas Lopes Pacheco, D.Sc.

Programa: PPTEC

A falta de moradias adequadas para a população de baixa renda é um problema que assola não só o Brasil como todo o mundo. A utilização de novas tecnologias e a redução dos custos envolvidos são fatores decisivos para permitir a redução desse déficit. Uma parcela considerável do custo de uma casa popular está associada ao custo do material utilizado. Nos últimos anos novos tipos de casas populares têm sido propostos, utilizando diversos materiais e tecnologias. As casas populares com estrutura metálica oferecem diversas vantagens como o custo final e a facilidade de montagem. Nesse escopo, este trabalho apresenta uma metodologia baseada no método de elementos finitos que permite avaliar o comportamento estrutural de casas populares com estrutura metálica. Através de modelos numéricos da estrutura metálica baseados no método de elementos finitos é possível identificar os níveis de solicitação mecânica dos elementos estruturais e auxiliar na escolha de uma configuração que resulte em uma construção de baixo peso e custo. Neste trabalho a metodologia é aplicada a uma configuração de casa popular com estrutura metálica existente, com o objetivo de verificar a viabilidade de reduzir o peso da estrutura metálica. Resultados das simulações numéricas indicam que o peso da estrutura metálica da casa popular pode ser reduzido em até um quarto do seu peso original sem comprometer a sua integridade estrutural.

Palavras Chave: Análise Estrutural, Método dos Elementos Finitos, Habitação Popular

Abstract of dissertation submitted to DIPPG / CEFET-RJ as part of the requirements for obtaining the degree of Master of Technology (MT)

**CONTRIBUTION TO STRUCTURAL ANALYSIS OF LOW COST HOUSES WITH STEEL
FRAME STRUCTURE USING THE FINITE ELEMENT METHOD**

Francisco de Assis Corrêa

September / 2009

Supervisor: Pedro Manuel Calas Lopes Pacheco, D.Sc.

Program: PPTEC

The lack of adequate low cost houses for poor population is a problem that is present in the whole world. The use of new technologies and cost reduction approaches are fundamental for the deficit reduction. A considerable part of a low cost house cost is associated to the material cost. In the last years new types of low cost houses have been proposed, using various materials and technologies. Steel frame low cost houses present some advantages as low cost and assemblage. In this work a methodology based on the finite element method is developed to assess the structural behavior of steel frame structure low cost houses. Structural solicitation levels can be predicted using the proposed numerical models and used to in selection of configurations that results in low weight and low cost houses. The methodology is applied to an existing low cost house to study the viability of steel frame structure weight reduction. Numerical results show that the steel frame structure weight can be reduced in one-quarter without compromise its structural integrity.

Keywords: Structural Analysis, Finite Element Method, Low Cost Houses

LISTA DE ILUSTRAÇÕES, TABELAS E GRÁFICOS	Pág.
CAPÍTULO I	
Figura I. 1 – Situação habitacional no Rio de Janeiro – Mangueira	04
Figura I. 2 a, b, c – Habitações populares verticais e horizontais	09
Figura I. 3 – Estrutura da casa montada	11
Figura I. 4 – Detalhamento do processo	12
CAPÍTULO II	
Figura II.1 – Etapas da Montagem sem acréscimos	14
Figura II.2 – Planta baixa humanizada sem acréscimo	15
Figura II.3 – Etapas da montagem do acréscimo – 63m ²	15
Figura II.4 – Planta Baixa humanizada com acréscimo – 63m ²	16
Figura II.5 – Planta de Arquitetura Humanizada	18
Figura II.6 – Planta de Arquitetura Legal – áreas compatíveis	19
CAPÍTULO III	
Figura III.1 - Vento nas Edificações	23
Figura III.2 - Isopletras da Velocidade Básica V0 (NBR 6123/88)	24
CAPÍTULO IV	
Figura IV.1– Planta baixa de unidade residencial unifamiliar térrea	52
Figura IV.2– Planta da fachada frontal	53
Figura IV.3– Planta da fachada lateral	53
Figura IV.4– Planta de arquitetura humanizada	54
Figura IV.5– Esquemático da estrutura do modelo simulado	54
Figura IV.6– Representação dos pontos . Modelo para metade da construção	55
Figura IV.7– Representação das linhas. Modelo para metade da construção	55
Figura IV.8– Representação das áreas. Modelo para metade da construção	56
Figura IV.9– Elementos BEAM4 (a) e SHELL63 (b). (ANSYS,2006)	56
Figura IV.10– Estrutura metálica. Modelo para a estrutura inteira com os tipos de perfis	57
Figura IV.11– Malha de elementos finitos	58
Figura IV.12– Condições de contorno aplicadas na linha da base	59
Figura IV.13– Carregamento da pressão do vento aplicada na lateral e no telhado	61
Figura IV.14– Carregamento da pressão do vento aplicada na frente e no telhado	61

CAPÍTULO V

Figura V.1 – Perfis da estrutura metálica. do projeto da USIMINAS.	64
Figura V.2 – Perfis da estrutura metálica do projeto POPMETAL.	64
Figura V.3 – Deslocamentos. Projeto USIMINAS.	65
Figura V.4 – Deslocamentos. Projeto POPMETAL	65
Figura V.5 – Distribuição da tensão equivalente de <i>von Mises</i> na estrutura USIMINAS	66
Figura V.6 – Distribuição da tensão equivalente de <i>von Mises</i> na estrutura POPMETAL	66
Figura V.7 – Distribuição da tensão equivalente de <i>von Mises</i> . Projeto USIMINAS	67
Figura V.8 – Distribuição da tensão equivalente de <i>von Mises</i> na estrutura metálica. Região de máximo no encaixe da terça com a cumeeira. Projeto POPMETAL.	68

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO IV

Tabela IV.1 – Características geométricas dos perfis para os projetos analisados	57
Tabela IV.2 – Propriedades Mecânicas dos Materiais(NB14)	58
Tabela IV.3 – Cargas distribuídas associadas ao efeito do vento e peso das telhas	60

CAPÍTULO V

Tabela V.1 – Valores máximos da tensão equivalente de <i>von Mises</i>	69
Tabela V.2 – Deslocamentos máximos obtidos	69

GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS

Autocad - AUTODESK – Software de projetos gráfico em 2D.

ANSYS – Software de simulações pelo método de elementos finitos

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Abreviatura de “Antes de Cristo”
CEFET/RJ	Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
DC	Abreviatura de “Depois de Cristo”
EPS	Poliestireno Expansível
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto de Metrologia
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial de Saúde
PBQPH	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat
PNAD	Programa Nacional de Amostra de Domicílios
SINDUSCON-RJ	Sindicato da Indústria da Construção Civil – Rio de Janeiro
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

INTRODUÇÃO

Na área de construção civil as tecnologias construtivas estão em constante transformação com o uso de novos materiais e metodologias de projeto cada vez mais precisas. A área passa a contar com novos materiais que apresentam um melhor desempenho em diversas situações com melhores propriedades e maior capacidade de resistir às cargas e às condições impostas. As metodologias de projeto passam a incorporar ferramentas computacionais que permitem trabalhar com modelos mais próximos de situações reais, resultando em previsões mais precisas.

No Brasil o segmento econômico da construção civil é responsável por 14,8% do PIB, representando um importante setor da economia no país. Entretanto, a indústria da construção civil é a responsável por 14 a 50% do consumo dos recursos naturais consumidos pela sociedade em todo planeta (SILVA FILHO *et al.*, 2002).

A falta de moradias adequadas para a população de baixa renda é um problema existente não só o Brasil como em todo o mundo. A utilização de novas tecnologias e a redução dos custos envolvidos são fatores decisivos para permitir a redução desse déficit. O problema está presente em todos os estados da federação e, em particular, especificamente o município do Rio de Janeiro, que possui, segundo o IBGE, um déficit de quase quinhentas mil unidades, sendo esta incidência maior para a classe com rendimentos abaixo de três salários mínimos.

Diversos estudos têm sido desenvolvidos nos últimos anos no sentido de contribuir para reduzir estes problemas. Análises envolvendo ferramentas computacionais, como o método de elementos finitos, e programas experimentais têm sido desenvolvidas para avaliar o comportamento estrutural de diversos tipos de casas com o objetivo de aumentar a confiabilidade e otimizar os projetos. DA COSTA *et al.* (2003) apresentam um estudo do efeito da carga de vento provocada por ciclones tropicais em casas utilizando experimentos em escala real e modelos de elementos finitos. DUBINA (2008) avalia a performance de casas de estrutura metálica submetidas a carregamentos de terremotos, utilizando técnicas experimentais e modelos baseados no método de elementos finitos. Outros autores (SIVAKUMARAN *et al.*, 1998; REN, *et al.*, 2006; ZHOU *et al.*, 2007) focam a análise no comportamento de perfis de aço utilizados na construção de casas, envolvendo fenômenos complexos como flambagem plástica. SALEEM e ASHRAF (2008) apresentam um estudo utilizando modelos baseados no método de elementos finitos para o desenvolvimento de projetos de casas populares capazes de resistir a terremotos.

Neste trabalho apresenta-se uma metodologia baseada no método de elementos finitos desenvolvida para estudar o comportamento estrutural de casas populares com estrutura metálica. A metodologia envolve a utilização de simulações numéricas obtidas através de modelos de elementos finitos, desenvolvidas para identificar os níveis de solicitação mecânica dos elementos estruturais e avaliar a possibilidade de reduzir o peso da estrutura metálica através da redução da área transversal dos perfis metálicos. O modelo auxilia na escolha de uma configuração que resulte em uma construção de baixo peso e custo. A metodologia é aplicada a uma configuração de casa popular com estrutura metálica existente, cujo projeto foi desenvolvido pela USIMINAS (projeto USITETO), considerando-se as condições de carregamento para o Município do Rio de Janeiro.

O trabalho está estruturado em cinco capítulos. Em seguida apresenta-se uma breve descrição dos capítulos do trabalho.

O Capítulo I apresenta uma breve contextualização do problema da falta de habitação que está presente em todos os estados da federação. Em particular, o foco recai especificamente no município do Rio de Janeiro que possui, segundo o IBGE, um déficit de quase quinhentas mil unidades, com maior incidência na classe com rendimentos abaixo de três salários mínimos. Tal problemática demanda a necessidade de políticas públicas voltadas para a construção de moradias para população de baixa renda levando em consideração aspectos relacionados à sustentabilidade. Nesse contexto, complementando o capítulo, o aço é apresentado como material que possui grande potencial para ser utilizado na construção de edificações sendo uma opção para uso em casas populares.

No Capítulo II apresenta-se o tipo de casa popular escolhida para análise do comportamento estrutural através do método de elementos finitos conforme definido no objetivo desse trabalho. Dois projetos são mostrados: uma estrutura existente (USITETO) e uma estrutura alternativa proposta (POPMETAL). A estrutura proposta é baseada na estrutura existente (USITETO), apresentando uma configuração similar à original existente, e é utilizada para avaliar a redução de peso em relação à estrutura original existente.

Já no Capítulo III, com uma abordagem específica e detalhada, avaliam-se os carregamentos e esforços solicitantes dentro de um contexto conservativo, proporcionando um desenvolvimento dentro de parâmetros de segurança e enquadramento das normas técnicas pertinentes ao estudo.

O Capítulo IV apresenta o modelo numérico proposto baseado no método de elementos finitos para avaliar a estrutura metálica da casa popular. São descritos as condições de contorno, os carregamentos, a malha e os elementos utilizados.

O Capítulo V apresenta os resultados das simulações numéricas desenvolvidas para as duas configurações estudadas: USITETO e POPMETAL em termos de desempenho da estrutura metálica submetida aos carregamentos especificados no Capítulo III. O desempenho é analisado em termos das tensões equivalentes de von Mises e deslocamentos.

Finalmente a Conclusão apresenta a consolidação dos resultados obtidos e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO I

NECESSIDADE DA RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DAS HABITAÇÕES POPULARES NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO E O USO DO AÇO

Esse capítulo destina-se a apresentar uma breve contextualização da problemática da habitação popular no Município do Rio de Janeiro de modo a evidenciar a necessidade de se buscar a racionalização da construção nesse tipo de edificação. Primeiramente é mencionado o problema social da habitação popular no referido município que demanda políticas públicas voltadas para a construção de moradias para população de baixa renda considerando aspectos de sustentabilidade. Na sequência é apresentado o aço como material possível de ser utilizado para atendimento dessa demanda.

I. 1 - HABITAÇÕES POPULARES E O PROBLEMA SOCIAL NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

As favelas do Município do Rio de Janeiro surgiram como conseqüência da falta de planejamento e descuido dos órgãos públicos em sucessivas administrações ocorridas ao longo dos anos, resultando na situação ilustrada na Figura I. 1.

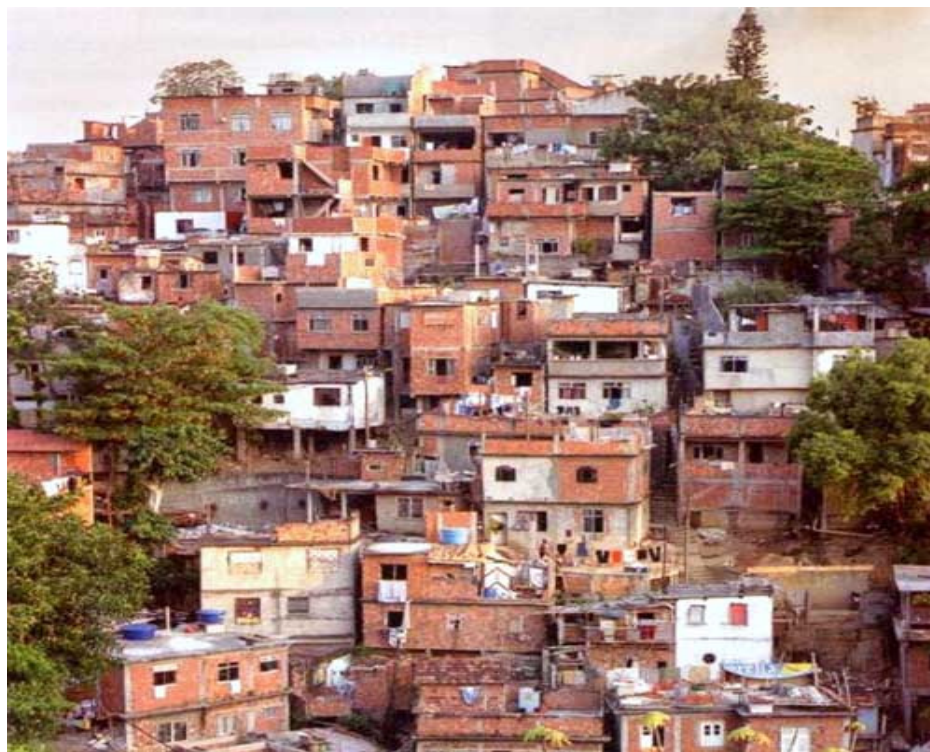


Figura I. 1 – Situação habitacional no Rio de Janeiro - Mangueira – (Fonte: o autor)

Para Campos (2001) a favelização teve origem pouco antes da abolição da escravatura em 1888. Conforme o autor:

“A abolição teve seu complemento arditamente imposto pela classe dominante, no veto ao acesso a terra para os ex-escravos. O objetivo era impedir que a alternativa de vida viável simbolizada pelos quilombos fosse generalizada. Impedidos de se converterem em camponeses independentes, uma parcela numerosa dos ex-escravos preferiu tentar a sobrevivência nos centros urbanos que permanecer como assalariados ou agregados de seus ex-senhores agrários. Uma boa parte procurou a então a capital federal, à época o Rio, que já contava com considerável população de ex-escravos urbanos e negros libertos.”

O bloqueio de acesso à terra e consequente migração para os centros urbanos, fez com que os ex-escravos construíssem suas moradias em regiões inadequadas à sobrevivência ocupando locais de difícil acesso e sem infraestrutura sanitária. Ainda segundo Campos (2001):

“Nas favelas, o controle e vigilância, desde o início, não era tão direto e sempre foi impessoal: ao invés do capataz e do capitão do mato sob ordens diretas do senhor, atuam as forças coletivas de repressão da classe capitalista - a polícia, os grupos de extermínio, excepcionalmente as forças armadas. Mais importante que isso, na senzala o opressor, através de seus instrumentos, tinha acesso permanente e absoluto, tinha conhecimento completo do espaço. Na favela, a incursão das tropas e funcionários do opressor só pode ser esporádica (ainda que muito violenta), o conhecimento do terreno é precário e incerto (as senzalas eram construídas segundo plano do senhor; as favelas crescem sem plano, mas seus moradores conhecem em detalhes sua geografia complexa), a realidade social da favela não pode ser conhecida a não ser em linhas gerais.”

Pode-se dizer que o texto do autor, que faz uma reflexão do passado, apresenta similaridade com a realidade ainda hoje encontrada nas favelas nas favelas do Município do Rio de Janeiro. Em função de seu relevo acidentado, o referido município apresenta uma geografia que favoreceu o surgimento de favelas com a ocupação de locais de difícil acesso por pessoas mais pobres que encontravam nesses locais a perspectiva de ficarem próximas

aos centros urbanos em busca de oportunidades de trabalho, resultando numa ocupação desordenada do solo. Essa ocupação desordenada do solo, aliada à falta de infraestrutura e planejamento bem como à condição social das pessoas que habitam as favelas, acabou por constituir um ambiente propício ao crescimento da marginalidade nesse espaço urbano, constituindo-se hoje em um grave problema a ser enfrentado pelo poder público.

No que se refere à questão da favelização, COMPANS (2003) acrescenta a problemática da titulação da propriedade em áreas ocupadas irregularmente conforme o seguinte relato:

“São muitos os entraves legais e burocráticos para a efetivação da titulação da propriedade em áreas ocupadas irregularmente. Apesar de três décadas de experiências em urbanização de favelas no Brasil, poucas foram aquelas em que o processo de regulamentação fundiária foi concluído.”

Para BONDUKI (2004) os primórdios da transformação da habitação numa questão social, datam seu início na primeira metade do século passado, com suas vilas operárias, cortiços e casas geminadas, conforme ilustrado na Figura 1.2, levando a necessidade da primeira intervenção do Estado nos anos 30 e 40 com os primeiros conjuntos residenciais públicos, edificados a partir do Estado Novo.



(a)



(b)



(c)

Figura I. 2 (a),(b) e (c) –Habitações populares verticais e horizontais

Segundo FUGAZZOLA (2005), a persistente crise brasileira e as políticas econômicas adotadas nas últimas décadas reduziram drasticamente os recursos aplicados em habitações sociais. O desaparecimento paulatino de programas federais que (ainda que marginalmente) financiaram populações de baixa renda e continham em seu escopo a construção de conjuntos de moradias, contribuiu para a intensificação de movimentos voltados para a ocupação de áreas urbanas em condições precárias. Ainda segundo o autor, a ausência de políticas fundiárias progressistas promoveu a exclusão dos pobres do mercado de terras e as intervenções públicas nas áreas ocupadas, quando ocorridas, consolidaram essa condição de penúria.

SACHS (1999) corrobora dizendo que as políticas de crescimento econômico baseado na desigualdade, implicaram diretamente no acúmulo de loteamentos periféricos, favelas e cortiços em várias regiões da cidade. Também a crise do SFH – Sistema Financeiro da Habitação, que nos anos 80 levou à extinção do Banco Nacional da Habitação, provocou uma queda acentuada nas realizações das COHAB espalhadas por todo o Brasil levando ao aparecimento de diversas comunidades carentes instituídas com base em construções inadequadas.

Há que se destacar que, em 12 de agosto de 2008 (Portal PINI-Web acesso em 14/08/2008), chegou à Câmara dos Deputados, em Brasília, a Proposta de Emenda Constitucional (PEC) da habitação. A PEC prevê a reserva de 2% do orçamento da União e 1% da arrecadação dos Estados para os Fundos Nacional, Estaduais e Municipais de Habitação de Interesse Social. A iniciativa é uma articulação entre movimentos pró-moradia, parlamentares, secretários de Habitação e entidades nacionais e regionais da construção civil e visa garantir recursos permanentes para permitir o acesso à moradia digna pelas famílias de baixa renda. Ainda segundo o portal, durante o lançamento do Comitê Estadual, na Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo, o presidente da empresa estatal (CDHU- Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado de São Paulo), Lair Krähenbühl, argumentou que a solução do problema habitacional depende de uma política setorial coerente e compromissada em atuar em situações críticas e afirma também:

“A moradia reflete diretamente em áreas como educação, saúde, e segurança pública. Os impactos positivos são evidentes. Está provado que residências que não acomodam satisfatoriamente os membros da família prejudicam o desempenho escolar dos jovens, que não tem espaço para estudar. O ambiente também é propício à transmissão de doenças.”

Considerando-se o estabelecimento de uma política pública, projetos habitacionais de âmbito nacional devem privilegiar as considerações básicas de arquitetura e aquelas referentes à cidadania. Assim sendo, os projetos não só devem considerar a durabilidade dos materiais, como também as condições mínimas de ampliação, resguardando o embrião e sua estabilidade¹, resultando em ruas do mesmo padrão do restante do espaço da cidade, pois o tamanho dos lotes, compatíveis com os padrões praticados no mercado, propicia taxas de ocupação baixas na origem das edificações.

A sustentabilidade é outro aspecto importante a ser considerado com relação à questão da moradia e da construção de projetos habitacionais. O Portal Conpet (acesso em 10/07/2008), por exemplo, destaca a preocupação da indústria da construção civil – que possui peso significativo na economia mundial – com o esgotamento dos recursos naturais não-renováveis, com o desperdício de materiais e a destinação final dos resíduos sólidos. Tal preocupação é decorrente das discussões sobre a Agenda 21, durante a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (UNCED/Rio-92) e do surgimento

¹ lotes de 200 a 360m², dispostos em quadras regulares, com arruamentos realizados seguindo as normas da municipalidade.

do movimento denominado construção sustentável, com a proposta de repensar toda a cadeia produtiva do setor.

Considerando que é grande o impacto provocado pela construção civil no meio ambiente, na economia e no homem, a construção sustentável destaca o cuidado na extração das matérias-primas, a minimização da liberação de materiais perigosos no meio ambiente, a economia de energia e água, o aprimoramento das condições de segurança e de saúde dos trabalhadores, e a qualidade e o custo das construções para os usuários finais (Portal Conpet – acesso em 10/07/2008). Dentro desse contexto, a sustentabilidade ganhou importância no ambiente das grandes construtoras interessadas em adquirir os chamados selos verdes através de processos de certificação.

A maior preocupação com projetos sustentáveis, fomentados pela implementação de leis, gerou diversas possibilidades e alternativas para novos projetos de edificações inclusive voltados para população de baixa renda. Faz-se necessário, portanto, racionalizar as diversas atividades envolvidas na construção de edificações buscando a melhoria nos processos construtivos e o aperfeiçoamento das características dos materiais, não apenas com a finalidade de redução dos custos das construções, mas também com o atendimento de outros aspectos relacionados à sustentabilidade conforme mencionado anteriormente. Dentre os diversos materiais usados na construção de edificações, pode-se dizer que a tecnologia de construção em aço no Brasil, com análises detalhadas visando reduzir custos e, por conseguinte, o menor uso de matérias-primas, atende a esses anseios. O aço deixou de ser utilizado apenas em construções industriais e comerciais para ser usado também no mercado de construção residencial uni/multifamiliar.

I. 2 – O AÇO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO DE MORADIAS

A escolha da tecnologia ou dos materiais de uma construção perpassa por vários segmentos estratégicos para consolidação do todo da construção, principalmente em relação à Habitação Social que constitui uma demanda significativa da maior parcela da sociedade.

O barateamento da construção civil é decisivo para a redução do déficit habitacional brasileiro. Estima-se, segundo ARAÚJO e TEIXEIRA (2007), que oito milhões de famílias no país não têm onde morar, sendo que 93% dessas pessoas possuem renda de até três salários mínimos, segundo Secretaria Nacional de Habitação.

Neste contexto se insere a construção estruturada em aço. Segundo a revista *Téchne*, número 54, as Siderúrgicas nacionais já oferecem modelos de casas e pequenos edifícios com estrutura metálica para população de baixa renda. Um exemplo é a Usiminas que, através de parceria com prefeituras e governos estaduais, impulsionou a venda de soluções para o setor de construção civil. Os produtos da empresa já estão sendo utilizados em vários projetos

habitacionais, entre os quais obras da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU) dentre outras.

Os ganhos de qualidade e produtividade proporcionados pelas obras industrializadas estão sendo reconhecidos pela CEF (Caixa Econômica Federal). Em maio de 2008, a instituição lançou o trabalho técnico "Requisitos e Critérios Mínimos para Financiamento pela Caixa de Edificações Habitacionais em Aço", voltado para as construções em aço posteriormente fechadas com paredes de alvenaria, realizado em parceria com o IBS (Instituto Brasileiro de Siderurgia), representando os produtores de estruturas metálicas, e o Sinduscon/SP (Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo), respondendo pelos usuários. Esse trabalho aborda os aspectos do aço, suas especificações e dimensionamentos, sempre fazendo referência à utilização das normas existentes. Normas de segurança estrutural e fogo também são citadas. Termos de garantia das construtoras e fabricantes, por sua vez, são exigidos pela CEF no momento de solicitar o financiamento.

A liberação de recursos por parte da CEF provavelmente irá alavancar o consumo de aço no setor. Enquanto na maioria dos países, essa matéria-prima é responsável por mais de 50% das construções residenciais, no Brasil as usinas de aços planos têm participação de menos de 1% neste mercado.

As vendas de aço no segmento da construção, que consome cerca de 32% do material vendido no país, se resume a produtos longos, como os vergalhões, utilizados nas estruturas de concreto. Empresas como Cosipa, Usiminas, CSN (Companhia Siderúrgica Nacional) e Gerdau já possuem sistemas direcionados à habitação popular e devem se beneficiar com a decisão da CEF.

O setor da construção civil vem despontando como um dos de maior potencial para o aumento do consumo de aço. Esse potencial é vislumbrado pelo vice-presidente executivo da ABCEM (Associação Brasileira da Construção Metálica) que cita a diferença de uso da estrutura metálica entre o Brasil e a Inglaterra: enquanto no país apenas 4,5% dos edifícios utiliza este método construtivo, na Inglaterra o número é de 68%.

No que se refere ao aço, as construtoras brasileiras estão indo buscar nos Estados Unidos, país com tradição nesse mercado, conceitos e tecnologia para produção de casas em série, com modelos que possuem estrutura em aço leve (*light steel frame*, em inglês) e fechamento com painéis com o conceito de construção a seco. Algumas construtoras do Brasil estão incorporando às residências unifamiliares sistemas de construção industrializados, que integram a maioria das etapas construtivas, desde a estrutura (Figura I. 3) em perfis leves de aço galvanizado, até a cobertura.



Figura I. 3 – Estrutura da casa montada (Fonte: www.revistaau.com.br)

Todas as peças metálicas da estrutura obedecem a um projeto de modulação e os perfis já são fornecidos pela fábrica nas dimensões pré-definidas pelo projeto. A modulação facilita a montagem e reduz o emprego de mão-de-obra. Segundo informação da ABCEM: “Em uma obra convencional, 40% do investimento vai para o material e 60 % para a mão de obra”.

O conceito presente neste sistema requer que todos os elementos construtivos como paredes, janelas, armários, portas etc. obedçam a uma linha de produção industrial e sejam apenas instalados pelo operário.

Cada unidade é apoiada em um radier de concreto convencional, onde são feitas marcações para a colocação dos perfis estruturais que por sua vez podem ser montados previamente isolados ou já compostos, com as chapas de gesso acartonado, formando os painéis. O aço das estruturas possui tensão de escoamento mínima de 228 MPa e apresenta revestimento com zinco, que garante proteção contra corrosão, presente no aço de especificação G60. No caso de áreas expostas à orla marítima, utiliza-se o aço G90, que possui maior revestimento de zinco. A espessura das chapas que compõem os perfis é de **0,95 mm**, adotada na maioria dos perfis, e de **1,25 mm**, em perfis de reforço de portas e janelas e em situações especiais, como, por exemplo, em relação a cargas concentradas. A largura dos montantes e das guias estruturais varia entre 90, 140 e 200 mm, e o espaçamento entre os perfis, de 40 a 60 cm, dependendo do pé-direito, como ilustrado na Figura I. 22. A fixação dos

painéis ao radier é feita com o uso de pinos de 2 polegadas com fixação à pólvora. As paredes internas são constituídas de painéis de chapas de gesso acartonado, os quais recebem miolo de lã de vidro ou rocha. Dependendo da composição das chapas de gesso com a lã mineral, o isolamento de sons aéreos pode chegar a 60 dB.

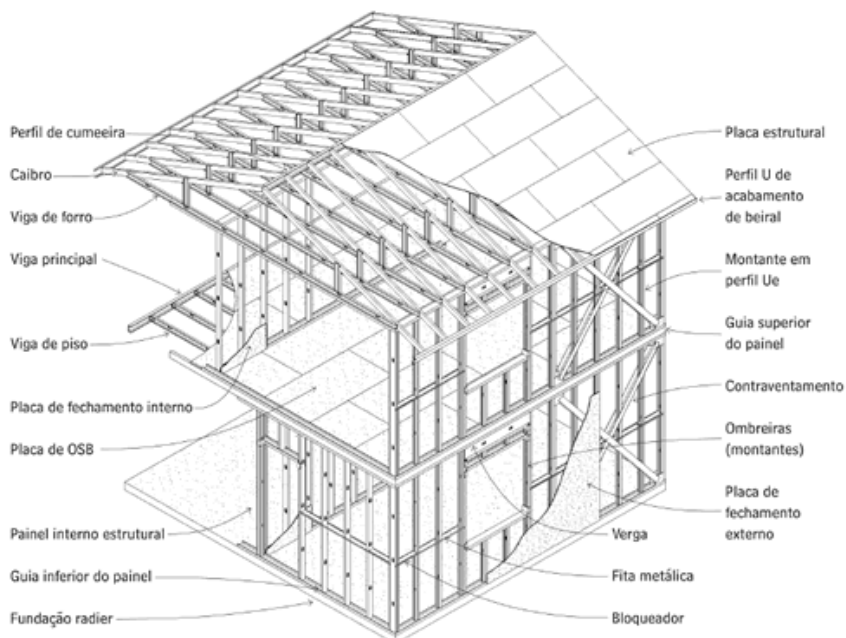


Figura I. 4 – Detalhamento do processo (TÉCHNE, 2002)

As placas são aparafusadas nos perfis e as suas junções recebem um impermeabilizante. Outro fechamento empregado nas casas é a argamassa armada. Esta consiste na cobertura dos perfis metálicos com uma tela de aço galvanizado fixada com parafusos, que recebe um impermeabilizante de celulose de alta densidade, onde se aplica a argamassa manualmente ou por jateamento, formando-se uma camada de 2 cm de espessura. Esse processo consome muito tempo e causa sujeira na obra indo em direção oposta ao conceito de rapidez e industrialização pretendido pelo sistema.

Após o fechamento da fachada, vem a etapa seguinte, chamada *home wrap* que consiste na cobertura de toda a área externa das casas com uma manta impermeabilizante de polietileno de alta densidade para garantir a estanqueidade das paredes. A umidade é o grande problema gerado pela não impermeabilização da fachada, cuja consequência é o aparecimento de marcações nas paredes. Com a manta colocada, inicia-se a aplicação do acabamento externo, que também pode ser de *siding* vinílico ou cimentício, ou ainda, tijolo à vista. Os *sidings* são fixados com parafusos e possuem vários tamanhos, cores e texturas. De preferência, devem ser usados *sidings* de cores claras, em função do conforto térmico e da durabilidade do PVC. O projeto estrutural das casas pode prever diferentes distribuições

espaciais internas, inclusive a montagem de edificações de até três pavimentos. Nesse caso, escadas metálicas podem ser incorporadas ao sistema mediante lajes estruturadas por vigas de perfis metálicos, onde são apoiadas placas cimentícias ou de madeira, que podem receber carpete, revestimento cerâmico, piso de madeira ou outro tipo de revestimento de piso. O revestimento das paredes internas pode variar de acordo com a determinação do arquiteto ou proprietário. Os acabamentos podem ser com tinta acrílica lisa ou texturizada, papel de parede, peças de granito ou mármore, e azulejo nas áreas molhadas. A impermeabilização do piso-parede das áreas molhadas pode ser resolvida com a aplicação de manta asfáltica de 3 a 5 mm ou manta auto-adesiva que possui uma tela na face superior, onde é espalhada a cola para o assentamento do piso cerâmico. As chapas de gesso usadas nessa área são resistentes à umidade e podem receber tinta antimoho. Em ambos os projetos das construtoras, as portas importadas são completas, com batente, dobradiças e fechaduras. Os vãos das portas recebem guarnições reguláveis, para possibilitar ajustes frente a irregularidades de paredes. As guarnições das janelas podem ser feitas com os perfis metálicos dobrados também e as esquadrias são de PVC. A cobertura das casas é estruturada em tesouras metálicas que recebem placas de cimento com fibrocelulose, onde se apóiam as telhas, que podem ser das mais variadas, como telha de barro, metálica, ou ainda a telha asfáltica do tipo *shingle (telha plana)*.

CAPÍTULO II

CASO ESTUDADO USITETO/POPMETAL

Neste capítulo é apresentado o projeto da Usiminas denominado USITETO que foi utilizado como referência para a elaboração do projeto proposto neste trabalho, denominado POPMETAL.

A concepção estrutural dos projetos é o diferencial em relação a outras tecnologias, já que a estrutura é fabricada em linha industrial e chega às obras prontas para montagem. A montagem da estrutura consome em torno de duas horas, conforme a sequência mostrada da figura II. 1. A planta baixa humanizada sem acréscimo do projeto USITETO é apresentada na figura II. 2.

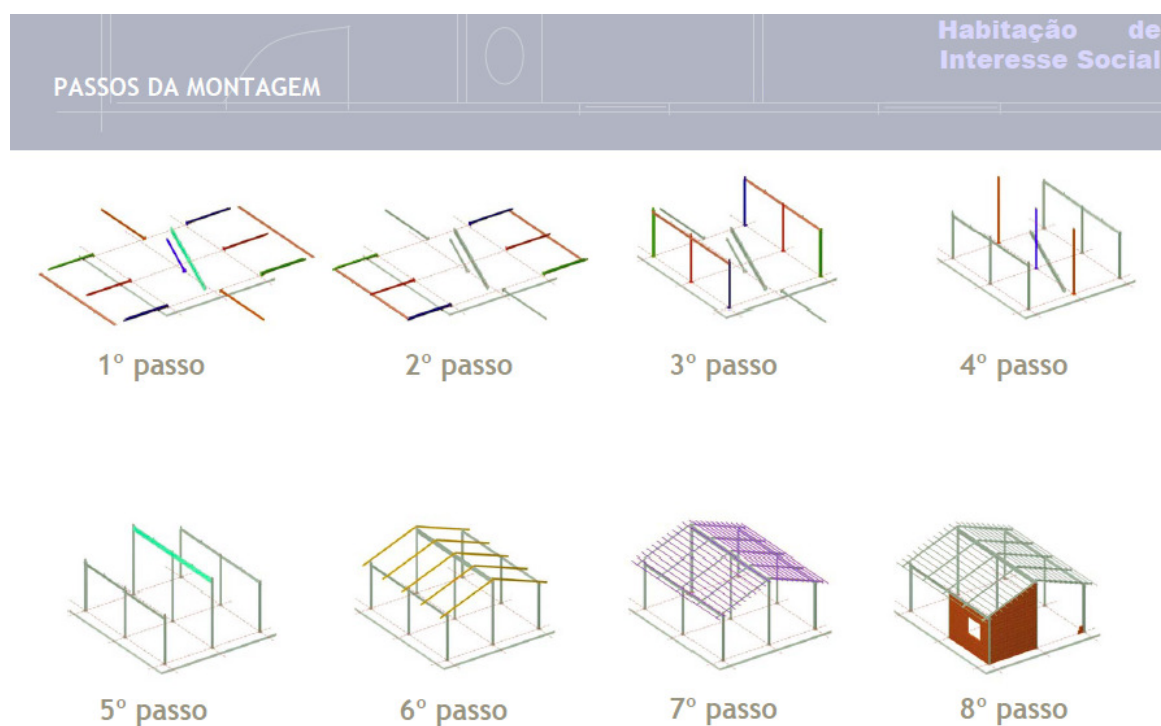


Figura II. 1 – Etapas da Montagem sem acréscimo – 42 m² (Adaptado de USIMINAS, 2005)



Figura II. 2 – Planta Baixa humanizada sem acréscimo (Adaptado de USIMINAS, 2005)

Na possibilidade de haver um acréscimo construtivo, este se dará sem grandes prejuízos ao aspecto estético, conforme sequência apresentada na Figura II.3. Um possível resultado dessa interferência é a Figura II.4:

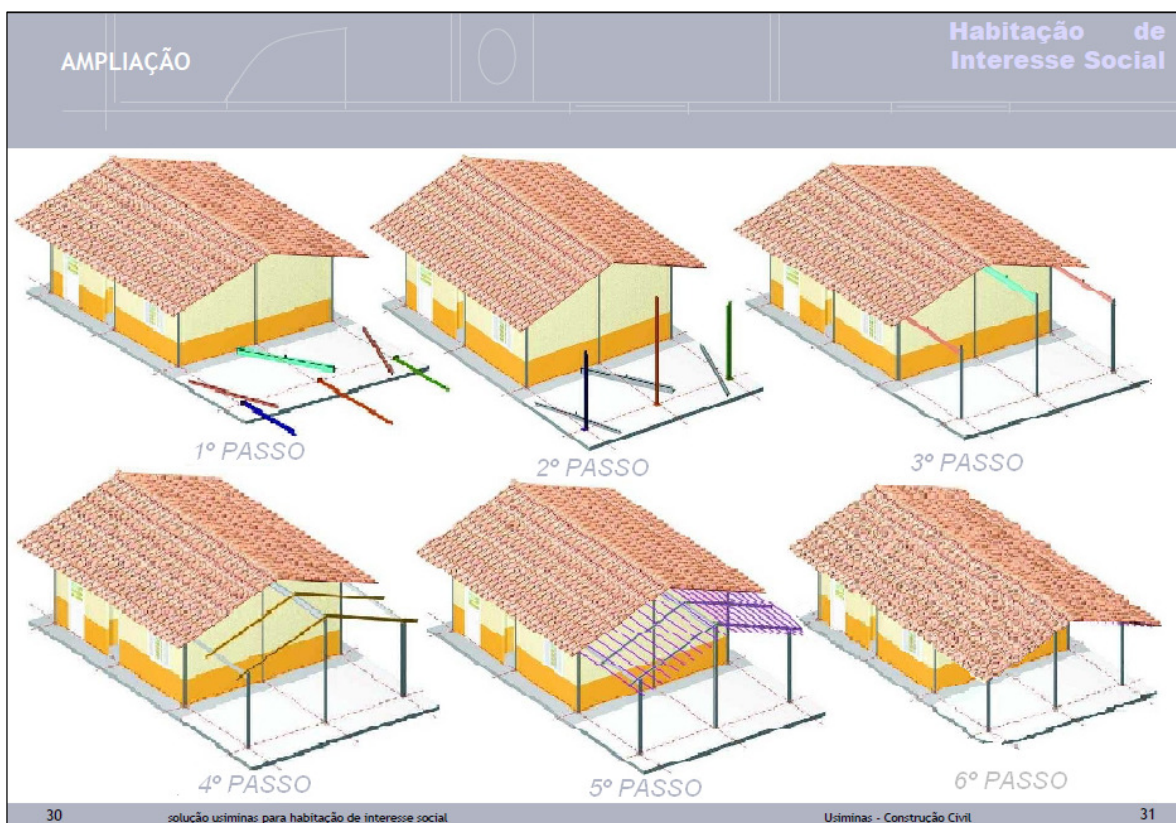


Figura II. 3 – Etapas da montagem do Acréscimo – 63m² (Adaptado de USIMINAS, 2005)



Figura II. 4 – Planta Baixa humanizada com acréscimo– 63m² (Adaptado de USIMINAS, 2005)

Após esta montagem, o telhado pode ser montado em pouco mais de uma hora, ficando a construção completamente configurada e protegida após estas duas etapas. Em nenhuma outra tecnologia este tipo de favorecimento ocorre, pois o grande problema das obras horizontais é o fator climático, melhor dizendo, chuva.

As condições climáticas são responsáveis por grande parte dos atrasos, em virtude de prejudicar o preparo e lançamento de argamassas de assentamento e concretagens, sem levar em conta os danos, como organização do canteiro abrigo para os trabalhadores e controle tecnológico dos materiais envolvidos.

O caso estudado é um projeto de arquitetura que atende às necessidades de uma família normal de baixa renda em função de pesquisa em dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), quanto ao quantitativo de pessoas e perfil de consumo.

O projeto também permite acompanhar o crescimento da família, pois a ideia é de tornar estas construções em futuras habitações maiores e evoluindo de acordo com a evolução da família que a ocupa. O empreendimento não deixa de lado as outras questões que também fazem parte de um projeto como: infra-estrutura de lazer, saúde, educação, transporte, entre outras necessidades básicas de um projeto grandioso de habitação. O projeto também leva em conta os impactos ambientais com a obra e a pós a entrega das chaves, com todo o complexo habitacional funcionando no seu dia a dia.

Neste trabalho o foco principal se baseia na análise da estrutura metálica, pois ela apresenta o maior impacto financeiro no conjunto construtivo. Naturalmente uma redução de custos neste segmento proporciona diretamente desdobramentos financeiros favoráveis no

custo final do empreendimento. Sem ressaltar outras qualidades decorrentes deste tipo de tecnologia, tais como o tempo de montagem, a organização, a limpeza, o controle, o uso de materiais 100% recicláveis. A seguir apresenta-se o projeto POPMETAL proposto neste trabalho, que é baseado no projeto USITETO da Usiminas.

II. 1 – PROJETO POPMETAL

O projeto de arquitetura foi concebido para uma residência unifamiliar afastada das divisas, composta de dois amplos quartos, um para o casal e outro para os filhos, sala, copa-cozinha e banheiro com área de serviço externa, aproveitando ao máximo a parte interna e enquadrando numa área similar ao projeto do USITETO, para em termos comparativos ser possível a visibilidade da proposta.

O fechamento externo considerado em termos orçamentários, considerou o uso de lajotas cerâmicas de 10x20x30, 10x20x20 e 10x20x10 para amarrações dos painéis. Este poderia ser de qualquer outro material, pois não causaria incompatibilidade com estas outras tecnologias, como bloco de concreto, gesso acartonado, painéis cimentícios, painéis de isopor, painéis plásticos entre outros.

O projeto proposto, denominado POPMETAL, procurou não introduzir alterações significativas no projeto original USITETO com o objetivo de permitir uma comparação direta entre as duas propostas. Na figura II. 5, temos a arquitetura com sugestões de decoração do projeto proposto:

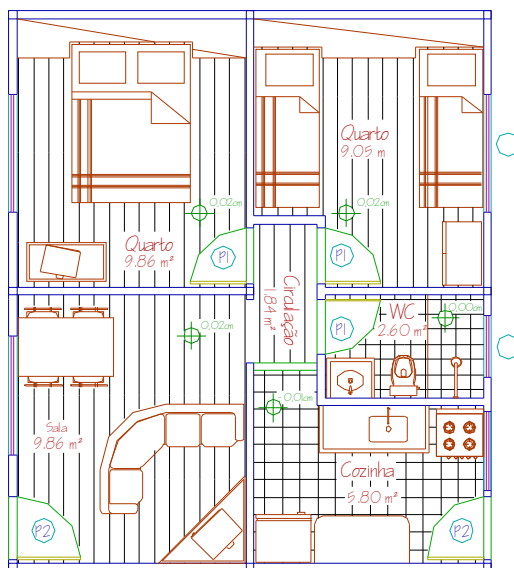


Figura II. 5 - Planta de Arquitetura Humanizada

Neste projeto, também poderão ser desenvolvidas no canteiro de obras a viabilização de outras tecnologias construtivas, tais como contra-piso zero, porta pronta, janela pronta, kit hidráulica, kit elétrica, kit gás, prémoldar medidores, prémoldar urbanização do conglomerado, aproveitamento da água da chuva, tratamento de esgotos, energia solar para aquecimento de água, paginação de alvenarias para redução de perdas, separação dos rejeitos das embalagens para posterior reciclagem, treinamento da mão de obra local, visando melhoria do nível de emprego e especialização do trabalhador, primeiro emprego para jovens carentes da região, e muitas outros benefícios que a construção industrializada pode e deve proporcionar.

Esta proposta tem uma abrangência sem precedentes, bastando apenas observar a própria planta de arquitetura legal mostrada na Figura II.6, onde se observa que os compartimentos não são cubículos como eram projetados no passado, eles possuem as dimensões semelhantes a de projetos de apartamentos sofisticados de classe média, pois independente da classe social há de se respeitar a legislação vigente.

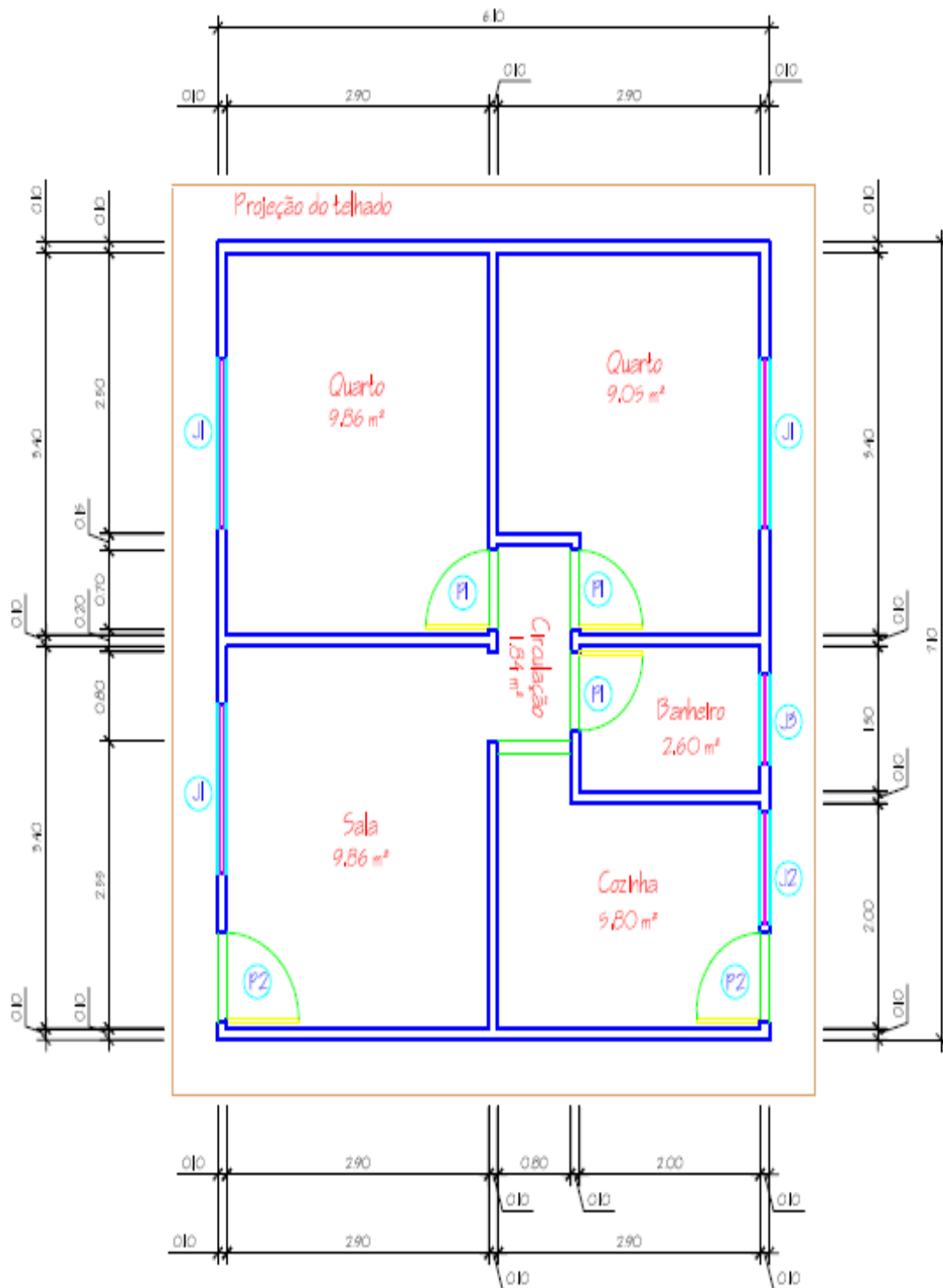


Figura II. 6 - Planta de Arquitetura Legal - áreas compatíveis.

Este detalhe induz a um direcionamento de uma visão mais humanista e cidadã, da população de baixa renda, na concepção dos novos projetos, deixando de lado a estigmatização de projeto para se transformar em depósitos de pessoas em dimensões não satisfatórias e não humanas. No passado a leitura de *projeto popular* era exatamente esta, sobrepondo inclusive aos Códigos de Obras e as leis de parcelamento do solo e de compartimentação dos ambientes, denotando um caráter de exclusão total dos direitos do cidadão, pois se aprovavam construções totalmente incompatíveis com a legislação com pretexto e bandeira da economia e passando a impressão de barateamento do custo final da obra.

CAPÍTULO III

ANÁLISE ESTRUTURAL SEGUNDO A NORMA NBR 8800

Neste capítulo são apresentados de forma sucinta, os padrões e critérios ditados pela norma NBR 8800 (ABNT, 2008), destacando suas principais características, tipos de carregamentos e basicamente o dimensionamento do projeto **USITETO**. Esta norma estabelece os requisitos básicos no projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações.

III. 1 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

A norma NBR 8800 (ABNT, 2008) considera o dimensionamento dos componentes de uma estrutura através do método dos estados limites. O método exige que nenhum estado limite aplicável seja excedido nos componentes de uma estrutura quando a mesma for submetida a todas as combinações de ações possíveis.

A norma estabelece que a estrutura não mais atende aos objetivos para os quais foi projetada, quando um ou mais estados limites foram excedidos. Os estados limites últimos estão relacionados com a segurança da estrutura sujeita às combinações mais desfavoráveis de ações previstas em toda a vida útil, enquanto que os estados limites de utilização estão relacionados com o desempenho da estrutura sob condições normais de serviço.

A resistência de cálculo de cada componente ou conjunto da estrutura deve ser igual ou superior à solicitação de cálculo. A resistência de cálculo, N_d , é calculada para cada estado limite aplicável.

III. 2 – TIPOS DE CARREGAMENTOS

Os carregamentos a serem adotados no projeto das estruturas de aço e seus componentes são considerados na análise através de ações estipuladas pela NBR 8800 (ABNT, 2008). Essas ações devem ser tomadas como nominais, devendo ser considerados os seguintes tipos de ações nominais:

G: ações permanentes, incluindo peso próprio da estrutura e peso de todos os elementos componentes da construção, tais como pisos, paredes permanentes, revestimentos e acabamentos, instalações e equipamentos fixos, etc;

Q: ações variáveis, incluindo as sobrecargas decorrentes do uso e ocupação da edificação, equipamentos, divisórias, móveis, sobrecargas em coberturas, pressão hidrostática, empuxo de terra, vento, variação de temperatura, etc;

No presente projeto, as cargas permanentes atuantes são representadas pelo peso próprio da estrutura de aço, das paredes, das telhas e as cargas variáveis são representadas pelo vento e efeitos da sobrecarga.

As telhas usadas no projeto são telhas cerâmicas do tipo portuguesa, cujo consumo é de 16 peças por m^2 e a sua massa é de 2,4 kg cada. O espaçamento desse tipo de telha é de 33 cm, logo a massa pela unidade de área do telhamento é de $38,4 \text{ Kg}/m^2$ que equivale a um peso por unidade de área de $0,376 \text{ kN}/m^2$.

Segundo BELLEI (2004), em geral, em edifícios de porte pequeno e médio, fora de zonas de acúmulo de poeira, adota-se, para sobrecarga na cobertura, $15 \text{ kgf}/m^2$ ($0,147 \text{ kN}/m^2$), para levar em conta fatores como chuvas etc.

Em relação à carga de vento, o item B-4 do anexo B da NBR 8800 (ABNT, 2008) estabelece que:

“Estruturas de edifícios cuja altura não ultrapassa cinco vezes a menor dimensão horizontal (estrutural) nem 50 metros, podem na maioria dos casos, ser consideradas rígidas, podendo-se supor que o vento é uma ação estática. Nos demais casos e nos casos de dúvida, a estrutura será considerada flexível, devendo ser considerados os efeitos dinâmicos do vento”.

No caso estudado, a altura da casa é de 4,04 m, que é muito inferior a cinco vezes a menor dimensão horizontal ($5 \times 7,00 = 35,00\text{m}$) ou 50 m. Logo, não são consideradas as cargas dinâmicas devidas ao vento no dimensionamento. No entanto, as ações estáticas do vento, são consideradas normalmente. As considerações para determinação das forças devidas ao vento foram calculadas de acordo com a norma NBR 6123/1988 intitulada “*Forças devidas ao vento em edificações*” (ABNT, 1988). Define-se o termo barlavento com sendo a região de onde sopra o vento (em relação à Edificação), e sotavento, a região oposta àquela de onde sopra o vento, conforme figura III. 1. Quando o vento sopra sobre uma superfície existe uma sobrepressão (sinal positivo), porém em alguns casos pode acontecer o contrário, ou seja, existir sucção (sinal negativo) sobre a superfície. O vento de um modo geral atua perpendicularmente à superfície que obstrui sua passagem.

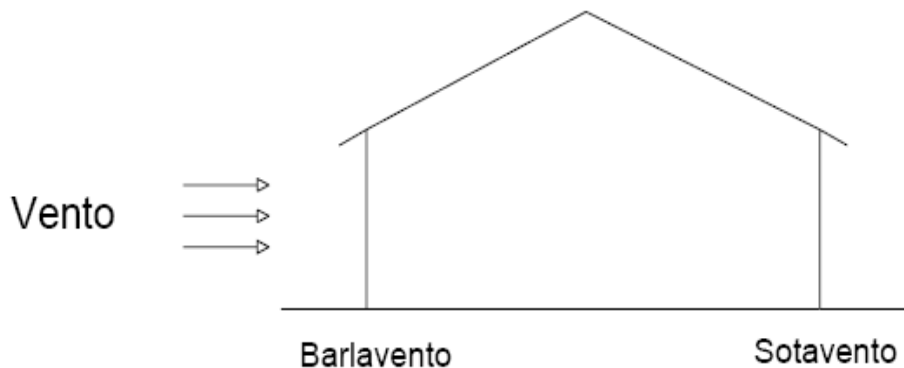


Figura III. 1 - Vento nas Edificações (Fonte: o autor)

Os cálculos são determinados a partir de velocidades básicas determinadas experimentalmente em torres de medição de ventos, e de acordo com a NBR6123 (ABNT, 1988) a 10 metros de altura, em campo aberto e plano. Segundo a norma, a velocidade básica do vento, V_k , é dada por uma rajada de três segundos de duração, que ultrapassa em média esse valor uma vez em 50 anos, e se define pela eq. (3.1):

$$V_k = V_0 S_1 S_2 S_3 \quad (3.1)$$

onde V_0 , pode ser obtido da norma, pela análise das isopletras, como mostra a figura III.2 de velocidade básica, e S_1 , S_2 , S_3 são, respectivamente, fator topográfico, rugosidade do terreno e fator estatístico da edificação obtidos em tabelas da norma.

As velocidades foram processadas estatisticamente, com base nos valores de velocidades máximas anuais medidas em cerca de 49 cidades brasileiras. A NBR 6123 (ABNT, 1988) despreza velocidades inferiores a 30 m/s e considera que o vento pode atuar em qualquer direção e no sentido horizontal. A figura III.2 apresenta as isopletras da velocidade básica definidas na NBR 6123 (ABNT, 1988).

A análise desenvolvida considera que a construção será erguida no município do Rio de Janeiro. Como o estado do Rio de Janeiro, está entre as isopletras de 30 m/s e 35 m/s, como mostra a figura III. 2 nas análises desenvolvidas neste trabalho considera-se V_0 de aproximadamente 33m/s e os seguintes valores $S_1 = 1,0$, $S_2 = 0,859$ e $S_3 = 1,0$. Assim, o valor de V_k adotado é igual a 28,347 m/s .

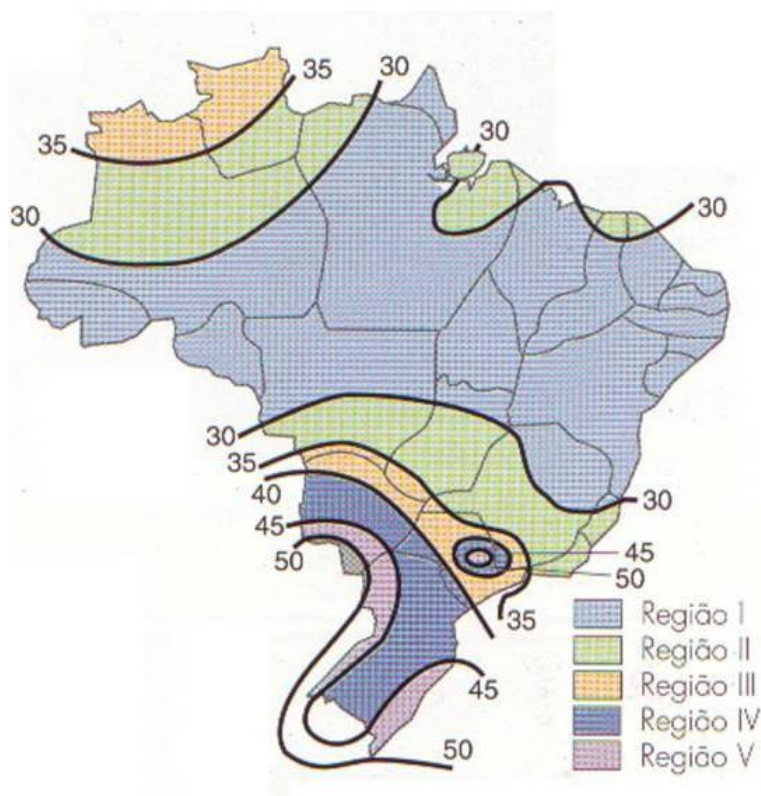


Figura III. 2 - Isopletas da Velocidade Básica V_0 segundo a NBR 6123 (ABNT, 1988)

A força devido ao vento depende da diferença de pressão nas faces opostas da parte da edificação em estudo (coeficientes aerodinâmicos). A NBR 6123 (ABNT, 1988) permite calcular as forças a partir de coeficientes de pressão ou coeficientes de forma. Os coeficientes de forma têm valores definidos para diferentes tipos de construção, que foram obtidos através de estudos experimentais em túneis de vento.

Assim, a força total devida ao vento pode ser expressa como:

$$F = (C_{pe} - C_{pi}) q A \quad (3.2)$$

onde $q = 0,613 \times (V_k)^2 = 0,493 \text{ kN/m}^2$ e A é a área do painel de parede na qual o vento incide. Para a casa considerada neste estudo as áreas são as seguintes: no vento de frente $19,60 \text{ m}^2$ e $16,80 \text{ m}^2$ no vento incidente na lateral. C_{pe} e C_{pi} são os coeficientes de pressão interno e externo, respectivamente e dependem da geometria e das dimensões do elemento estrutural. Os valores de C_{pe} e C_{pi} utilizados estão listados na próxima seção que trata do dimensionamento dos elementos estruturais da casa.

No caso dos coeficientes de majoração e de combinação dos esforços atuantes, a norma brasileira NBR 8800 (ABNT, 2008) adota uma formulação compatível com as normas nacionais e internacionais de segurança das estruturas.

A Norma Brasileira NBR 8681 (ABNT, 2008), intitulada Ações e Segurança nas Estruturas, fixa os **critérios de segurança** das estruturas e de quantificação das ações e das resistências a serem adotados nos projetos de estruturas constituídas de quaisquer dos materiais usuais na construção civil. Obtém-se então para combinações normais e aquelas referentes a situações provisórias de construção. Após o desenvolvimento de uma análise baseada na norma, onde foram consideradas diversas combinações de carregamentos e avaliações dos dados das tabelas a respeito do coeficiente de segurança de solicitações no Estado Limite de Projeto, foram adotadas as seguintes cargas e os seguintes esforços críticos para os cálculos realizados:

CARGAS

$$P_{telhas} = 0,658 \text{ kN/m}$$

$$P_{ripas} = 0,222 \text{ kN/m}$$

$$P_{caibros} = 0,135 \text{ kN/m}$$

$$SC = 0,257 \text{ kN/m}$$

$$CP = P_{telhas} + P_{ripas} + P_{caibros} = 1,015 \text{ kN/m}$$

MOMENTOS CRÍTICOS (M_d)

Caibros.....6,20 kN.m

Pilares.....4,48 kN.m

ESFORÇOS NORMAIS CRÍTICOS (N_d)

Caibros.....-3,43 kN (compressão) e 6,51 kN (tração)

Pilares.....-13,18 kN (compressão) e zero (tração)

RESUMO DAS VIGAS DE APOIO

$$N_d = 0 \quad \text{e} \quad M_d = 5,52 \text{ kN.m}$$

onde P_{telhas} , P_{ripas} e $P_{caibros}$ representam, respectivamente, os pesos das telhas, ripas e caibros por unidade de comprimento. SC representa a sobrecarga por unidade de comprimento.

III. 3 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL COM DETALHAMENTO

III. 3.1 DIMENSIONAMENTO DAS TERÇAS

Sob o ponto de vista estrutural são elementos lineares alongados, denominados hastes ou barras. Hastes formam elementos alongados cujas dimensões transversais são pequenas em relação ao comprimento.

As terças são vigas longitudinais dispostas nos planos da cobertura destinadas a transferir à viga de cobertura as cargas atuantes naqueles planos, tais como peso do telhamento e sobrepessões e sucções devidas à ação do vento.

As cargas de vento produzem flexão simples nas terças, enquanto as cargas de gravidade produzem flexão oblíqua. As terças têm como função principal de servir de apoio às telhas da cobertura. Bem como servir de elemento estabilizador da estrutura.

Seu espaçamento depende das cargas que atuam na cobertura e do vão limite do tipo de telha adotado. As cargas atuantes nestes elementos são o peso das telhas, o peso próprio das terças e ainda os elementos de fixação. São submetidas às cargas acidentais e as cargas de vento.

Os esforços resultantes são transferidos para vigas componentes de pórticos que devido a seus vãos podem apresentar problemas de estabilidade lateral principalmente na direção de menor inércia do elemento.

Podem ser usados perfis laminados ou conformados a frio de seção simples.

Pré-dimensionamento:

O perfil escolhido segundo a norma deve ter sua altura compreendida na faixa de $55 \text{ mm} < d < 77 \text{ mm}$, foi escolhido o perfil C 90 x 25 x 2.0, pois por tentativa verificou-se que os perfis de altura menor, não passavam no dimensionamento.

As terças estão distribuídas a uma distancia de 33 cm uma da outra, pois a galga da telha utilizada é de 33 cm. Foi utilizado um total de 24 terças.

Por economia, foi adotado o perfil C de chapa dobrada, pois é o mais leve encontrado próximo a faixa de altura estipulada pelo pré-dimensionamento.

É indicado o dimensionamento usual pelo método das tensões admissíveis:

- 1º Verificação: Resistência a Flexão

O modulo elástico de resistência segundo eixo y 0,6. F_y é a tensão admissível à flexão igual a 60% da tensão de escoamento do aço.

- 2º Verificação: Flecha máxima deve ser inferior ao limite de esbeltez, considera-se ainda que as fixações das telhas sobre as terças evitarão problemas de flambagem lateral e torção.

As terças estão posicionadas na cobertura de tal forma que a parte aberta da seção fique voltada para o lado da cumeeira. Esta posição gera maior estabilidade porque as cargas

verticais, nesse caso, se aproximam do centro de cisalhamento do perfil. As tensões máximas ocorrem na seção central. As cargas atuantes nas terças serão:

- Peso das telhas (P)

Peso das telhas: $38,4 \text{ kg/m}^2 = 0,376 \text{ kN/m}^2$

Onde: 0,33 = distância entre as terças

- Peso estimado para terças ($P_{\text{terças}} = 0,127 \text{ kN/m}^2$ $P = 0,127 \times 0,33 = 0,042 \text{ kN/m}$)

Carga Permanente Total (CP)

$CP = P_{\text{telhas}} + P_{\text{terças}} = 0,124 + 0,042 = 0,166 \text{ kN/m terças}$

- Sobrecarga (SC)

$SC = 15 \text{ kgf/m}^2 = 0,147 \text{ kN/m}^2$

$SC = 0,147 \times 0,33 = 0,048 \text{ kN/m}$

- Vento (V):

Coefficiente de Pressão máximo no telhado (C_{pe}): -1,26 (TABELA) Pressão dinâmica do vento = 0,489 kN/m

$V = -1,26 \times 0,489 = -0,616 \text{ kN/m}^2$

$V = 0,616 \times 0,33 = 0,203 \text{ kN/m}^2$

- 1º Combinação: Peso Próprio e Sobrecarga

$C = 1,3 \cdot CP + 1,5 \cdot SC$

III. 3.1.1 ESFORÇOS NAS TERÇAS

Cálculo do Momento fletor máximo da viga:

1. Cálculo do momento fletor na terça M_x :

$l =$ menor vão a que a terça está sujeita em metros 3,50 m.

$M_{x1} = q_x \cdot l^2 / 8 = 0,423 \text{ kN.m}$

2. Cálculo do Momento fletor da terça $L = 1,75 \text{ m}$.

$M_{y1} = q_y \cdot l^2 / 8 = 0,038 \text{ kN.m}$

- 2º Combinação: Peso Próprio e Vento = $0,9 \cdot CP$ $C_2 = 0,9 \cdot 0,166 = 0,149 \text{ kN/m}$

Cálculo do Momento fletor Máximo da terça M_x : $l =$ maior vão a que a terça está sujeita em metros = 3,50 m.

Cálculo do Momento fletor Máximo da terça M_y :

- 1º Verificação (Para a hipótese mais crítica):

A hipótese mais crítica foi a que considerou o peso próprio e a sobrecarga.

$M_x = 51,1 \text{ kN.cm}$

- 2º Verificação (Para a hipótese mais crítica):

$l = 350 \text{ cm}$

$$E = 20500 \text{ kN/cm}^2$$

$$q_{sc} = \text{sobrecarga na terça} = 1,3 \cdot SC \cdot \cos\beta$$

O total de Terças utilizado foi de 24 terças C de chapa dobrada 90x25x2,5x2,00kg/m com comprimento total de 7,94m

III. 3.2 DIMENSIONAMENTO DA CUMEEIRA

A cumeeira está também sujeita a solicitações de flexão simples ou dupla, mas recebe aproximadamente o dobro da carga, logo não precisa ser dimensionado, pois foi considerado o pórtico central como referencial pra todos outros pórticos, em virtude disto será utilizado o dobro do perfil calculado anteriormente.

III. 3.3 DIMENSIONAMENTO DAS TESOURAS

As tesouras têm como função principal servir de apoio às terças. Uma vez que também se encontra submetido a esforços de flexão. Para as tesouras foram usados os mesmos critérios de pré-dimensionamento e de dimensionamento das terças.

Foram utilizadas 5 tesouras, (figura) espaçadas 1,75 m uma da outra.

A altura das tesouras deve estar compreendida dentro da seguinte faixa: $L / 70 < d < L / 50$

onde $L = 4,04 \text{ m}$, assim foi escolhido o perfil C 100 x 60 x 25 x 2,0 pois é o perfil mais leve, com altura próxima a faixa estipulada pelo pré-dimensionamento.

Cargas Atuantes nas tesouras e nas colunas:

Peso Próprio

Tesouras e colunas - Carga de Peso Próprio

Onde:

0,3 = peso no topo da coluna menor valor assumido 0,6 = peso no topo da coluna maior valor assumido 1,68 = carga distribuída nas tesouras, tendo como valor assumido 1,68 kN/m poderia estar de acordo com o perfil pré-dimensionado para as tesouras, mas por segurança, foi adotado um valor maior.

São considerados carga permanente apenas o peso próprio de telhas, terças, tesouras e o peso próprio das colunas, no topo destas. As cargas variáveis a serem consideradas são o vento e a sobrecarga que corresponde ao coeficiente utilizado para cargas permanentes de pequena variabilidade. São consideradas cargas permanentes de pequena variabilidade os pesos próprios de elementos metálicos e pré-fabricados, com controle rigoroso de peso.

O coeficiente de ponderação utilizado para a sobrecarga é 1,5, pois a sobrecarga inclui-se dentro de: Ações do uso. São consideradas ações decorrentes do uso de edificação sobrecargas em pisos e cobertura.

O coeficiente de ponderação utilizado para o vento é 1,4, pois este se inclui dentro da categoria: demais ações variáveis. Os fatores de combinação utilizados foram $\Psi = 1$ para sobrecarga e igual a 0,6 para vento. As combinações são Normais, pois não se trata de cargas durante a construção apenas, ou de cargas excepcionais, então as combinações feitas foram:

1. $1,3PP + 1,5SC$
2. $1,3PP + 1,4V$
3. $1,0PP + 1,4V_1$
4. $1,3PP + 1,4V_2$
5. $1,0PP + 1,4V_3$
6. $1,3PP + 1,5SC + 0,84V_4$
7. $1,3PP + 1,5SC + 0,84V_1$
8. $1,3PP + 1,5SC + 0,84V_2$
9. $1,3PP + 1,5SC + 0,84V_3$
10. $1,3PP + 1,4V_1 + 1,5SC$
11. $1,3PP + 1,4V_2 + 1,5SC$
12. $1,3PP + 1,4V_3 + 1,5SC$
13. $1,3PP + 1,4V_4 + 1,5SC$

Onde: PP = peso próprio

SC = sobrecarga

V1 vento 90° / cpi 0,20

V2 vento 90° / cpi -0,30

V3 vento 0° / cpi 0,20

V4 vento 0° / cpi -0,30

As cargas de vento produzem flexão simples nas terças, enquanto as cargas de gravidade (peso próprio e sobrecarga) produzem flexão e compressão.

Esforços na tesoura

Cargas Atuantes: $P = 0,376 \text{ kN/m}$

Telhas $0,376 \cdot 1,75 = 0,658 \text{ kN/m}$

$P_{\text{terças}} = 0,127 \text{ kN/m}^2$

$0,127 \cdot 1,75 = 0,222 \text{ kN/m}$

$P = 0,09 \text{ kN/m} + 0,09/2 = 0,135$ (valor assumido) $SC = SC = 0,147 \text{ kN/m}$

Tesouras $0,147 \cdot 1,75 = 0,257 \text{ kN/m}$

CP (Carga Permanente) = $P_{telhas} + P_{terças} + P_{tesouras}$, logo:

$CP = 0,658 + 0,222 + 0,135 = 1,015 \text{ kN/m}$

a) Dimensionamento das tesouras à compressão

Ao contrário do esforço de tração que tende a retificar as peças reduzindo o efeito de curvaturas iniciais existentes, o esforço de compressão tende a acentuar este efeito. Os deslocamentos laterais produzidos compõem o processo conhecido por flambagem por flexão, que em geral reduz a capacidade de carga da peça em relação ao caso da peça tracionada.

Solicitações de Cálculo:

$N_d = -3,43 \text{ kN}$

Aço A570 $F_y = 22,555 \text{ kN}$

Logo, a alma é uma placa enrijecida sem possibilidades de flambagem local $Q_a = 1$.

O flange é uma placa não-enrijecida sem possibilidades de flambagem local $Q_s = 1$.

$$Q = Q_a \cdot Q_s = 1 \quad (3.3)$$

$Q = 1$, para seções cujos elementos têm relações b/t iguais ou inferiores aos limites da norma.

Esbeltez no sentido X e Y

Considerando a tesoura bi-rotulado, tem-se que o comprimento de flambagem é o mesmo que o comprimento real da peça.

$K_x = 1,0$

$K_y = 1,0$

$I = 415 \text{ cm}$ (maior vão da tesoura).

O índice de esbeltez Kl/r , para barras comprimidas, não pode ser superior a 200.

Esbeltez no sentido x:

Esbeltez no sentido y:

Parâmetros de esbeltez para barras comprimidas:

Curva = c (NBR 8800, tabelas n^{os} 3 e 4, páginas 21 e 24).

Resistência Nominal à Compressão

A resistência de cálculo de barras axialmente comprimidas sujeitas a compressão é dada por

b) Dimensionamento da tesoura à Flexão:

1. Verificação da Flambagem local da alma

Classe 1 – Seção super-compacta.

Cálculo da resistência a flexão M_n :

2. Verificação da Flambagem local da mesa:

Classe 2 – Seção compacta.

Total de Tesouras: 5 tesouras 100 x 60 x 25 x 5,0 com comprimento de 7,94 m (47cm de beiral)

III. 4 COLUNAS

São elementos estruturais cuja finalidade é levar às fundações as cargas originais das outras partes. Basicamente, cada coluna é composta de três partes principais: fuste, que é o elemento portante básico da coluna; ponto de ligação, que serve de apoio para as outras partes da estrutura e a base, que tem por finalidade distribuir as cargas nas fundações, além de fixá-la. Com relação à fixação das bases, as colunas podem ser em rotuladas e engastadas. Fez-se opção por bases engastadas, por propiciarem estruturas mais leves.

As colunas podem estar sujeitas a esforços de compressão com flexão; tração com flexão (caso de pendurais e o caso de algumas colunas, quando solicitadas a peso próprio mais vento). Nas colunas sujeitas a cargas de compressão, podemos dividi-las em compressão centrada, em que as cargas estão aplicadas diretamente no centróide da seção da coluna ou de forma simétrica em relação ao eixo do fuste e compressão excêntrica, em que as cargas estão aplicadas descentradas em relação ao centróide da seção.

Colunas Submetidas à compressão

O tipo de fuste da coluna de alma cheia e altura constante é formado por um ou vários perfis laminados ou de chapa dobrada, ligados por solda ou parafusos.

III. 4.1 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

A altura dos perfis das colunas deve estar compreendida dentro da seguinte faixa:

$$L/30 < d < L/20, \text{ onde } L = 4,04$$

Dimensionamento das Colunas à Compressão:

Solicitações de Cálculo:

$$M_d = - 3,5 \text{ kN.m}$$

$$N_d = - 13,18 \text{ kN}$$

$$\text{Aço A570 } F_y = 22.555 \text{ kN/cm}^2$$

Cálculo da Resistência a Compressão N_n :

1. Esbeltez a compressão dos elementos da Coluna escolhida Alma:

A alma é compacta se:

Logo, a alma é uma placa enrijecida sem possibilidades de flambagem local $Q_a = 1$.

O flange é uma placa não enrijecida sem possibilidades de flambagem local $Q_s = 1$.

$$Q = Q_a \cdot Q_s = 1$$

2. Esbeltez no sentido X e Y:

$$K_x = 1,0$$

$$K_y = 1,0$$

$$l = 404 \text{ cm}$$

Aplicando o teorema de translação dos eixos obtemos os valores dos momentos principais de inércia do perfil composto, assim a flambagem se dará em torno do eixo y, pois foi verificado que nessa direção há o menor momento de inércia e conseqüentemente o menor raio de giração:

Parâmetros de esbeltez para barras comprimidas:

Curva = b NBR 8800/2008, tabelas nºs 3 e 4, páginas 21 e 23.

Resistência Nominal a Compressão:

Dimensionamento das Colunas à Flexão

1. Verificação da Flambagem Local da Alma:

Classe 1 – Seção super-compacta.

Resistência nominal à flexão:

2. Verificação da Flambagem local da mesa:

Classe 1 – Seção super-compacta.

Resistência nominal à flexão:

4.4.1- Bases de Coluna e Chumbadores

Os objetivos da colocação de bases em colunas são:

1. Distribuir a pressão concentrada do fuste da coluna sobre uma determinada área da fundação;
2. Garantir a fixação da extremidade inferior do fuste da coluna na fundação, de acordo com o esquema estrutural adotado.

A base escolhida foi a engastada. As bases engastadas propiciam estruturas mais econômicas, mas têm as fundações mais caras que as rotuladas. Sua finalidade é engastar os pilares às fundações por meio de uma série de artifícios, tornando-as o mais real possível com

relação ao esquema estrutural adotado. São dimensionadas para resistir a cargas verticais, horizontais e aos momentos de engastamento. Para pequenas excentricidades de carga, as tensões de compressão se estendem por toda a superfície de contato, bastando adotar ancoragens construtivas. A resultante de tração é absorvida pelos chumbadores.

As placas de base devem ser soldadas em oficina, antes de ser levadas para a obra, para garantir que seja feita uma solda de boa qualidade. Serão dimensionadas apenas as bases das colunas de 4,04 m de comprimento, por serem as maiores.

Foi admitido inicialmente chapa de 40 x 40 cm.

Cálculo da placa de base:

Assumindo:

$$F_{ck} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{nec} = 0,57 \text{ cm}^2$$

$$A_{placa} = 40 \times 40 \text{ cm} = 1600 \text{ cm}^2$$

$$A_{placa} > A_{nec}$$

A_{nec} = área necessária da placa,

$$C_{vertical} = \text{carga vertical na base da coluna} = 0,4 \text{ kN} \cdot 10 \text{ kg/m} \cdot 4,09 \text{ m} = 40,9 \text{ kg} \cdot 0,4 \text{ kN}$$

$C_{vertical}$

Cálculo dos Chumbadores:

Aço – A36

$$d = \frac{1}{2}'' = 12,7 \text{ mm}$$

$$F_y = 250 \text{ Mpa} = 25 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_u = 400 \text{ Mpa} = 40 \text{ kN/cm}^2$$

Resistência de cálculo na seção bruta:

$$0,9 \cdot 1,27 \cdot 25 = 28,575 \text{ kN}$$

Resistência de cálculo da seção rosqueada:

$$M_d = 3,54 \text{ kN.cm do concreto}$$

$$L = 30 \text{ cm}$$

$$R_d = 0,177 \text{ kN}$$

Para cada chumbador:

O comprimento dos chumbadores é função de sua aderência ao concreto.

Verificação do esmagamento da chapa de base pela coluna: A chapa utilizada é de espessura 3/8" em aço A570.

III. 4.2 DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS

Para receber as cargas de cobertura (telhas, chuvas, poeiras e sobrecargas em geral) e transmiti-las às colunas, são empregadas vigas que ao mesmo tempo servem para dar estabilidade às estruturas, que podem ser em alma cheia ou vazada ou em tesouras e treliças. Nesse projeto foram utilizadas vigas em alma cheia.

a. Cargas atuantes nas Vigas

São as seguintes cargas atuantes nos pórticos:

- Peso das telhas
- Sobrecarga
- Peso de terças e tesouras
- Peso próprio estimado da viga
- Peso no topo da coluna

Esquema de Calculo para as vigas:

Foi feito o esquema de cálculo apenas para o pórtico central, pois se deseja utilizar um único tipo de perfil para as vigas de ambos os pórticos, e por isso será utilizado o valor mais crítico, que no caso é o da viga do pórtico central.

Esforços Críticos

Esforços Normais Críticos:

Nas Vigas: $N_d = 0$

Momentos Críticos:

Nas Vigas: $M_d = 5,52 \text{ kN.m}$

A resistência à flexão das vigas pode ser afetada pela flambagem local e pela flambagem lateral. A flambagem local é a perda de estabilidade das chapas comprimidas componentes do perfil, a qual reduz o momento resistente da seção.

Solicitações de Cálculo:

$M_d = 552 \text{ kN.m}$

$N_d = 0 \text{ kN}$

Aço A 570

$F_y = 22.555$

Cálculo da esbeltez Segundo X e Y:

Será considerado $K_x = K_y = 1$

Esbeltez no sentido X:

Esbeltez no eixo Y:

1. Verificação da Flambagem local da alma:

Classe 1 – Seção super-compacta

2. Verificação de Flambagem local da mesa:

Classe 3 – Não-compacta

Na flambagem lateral, a viga perde seu equilíbrio no plano principal de flexão e passa a apresentar deslocamentos laterais e rotações de torção.

As vigas sem contenção lateral contínua podem ser divididas em três categorias, dependendo da distância entre os pontos de apoio lateral: vigas curtas, vigas longas e vigas intermediárias.

Condições para se ter viga intermediária:

Vigas intermediárias apresentam ruptura por flambagem lateral inelástica, a qual é muito influenciada por imperfeições geométricas da peça e pelas tensões residuais embutidas durante o processo de fabricação da viga.

III. 5 LIGAÇÕES

As ligações das partes da estrutura (ligações internas), ou dela com partes externas, como, por exemplo, as fundações, são utilizadas de forma a transmitir as cargas atuantes às peças e restringir as deformações na estrutura a limites admissíveis. São classificadas em ligações permanentes ou desmontáveis. As ligações permanentes são executadas com rebites e solda, as removíveis, com parafusos e pinos. As mais utilizadas são as ligações soldadas e aparafusadas, pois os rebites estão em desuso e os pinos são restritos a casos especiais. Cuidado especial deve ser tomado com construções em que as ligações dos elementos estruturais na montagem são feitas através de solda, pois isto gera problemas insolúveis, como: falta de prumos, falta de alinhamento e falta de garantia na qualidade da própria solda.

III. 5.1 MEIOS DE LIGAÇÃO

III. 5.1.1 PARAFUSOS E ARRUELAS

III. 5.1.1.1 PARAFUSOS

De acordo com a NBR 8800, os elementos de ligação e os meios de ligação deverão ser dimensionados de forma que as suas resistências de cálculo, correspondentes aos estados limites em consideração, sejam maiores que as solicitações de cálculo.

As resistências de cálculo, de modo geral, são calculadas como uma porcentagem especificada da resistência dos elementos ou meios de ligação a um determinado efeito (o estado limite).

As solicitações de cálculo, em consideração a esse mesmo estado limite, são calculadas através da análise da ligação sujeita às ações multiplicadas pelos coeficientes de ponderação.

Vale dizer que a solicitação de cálculo à tração no parafuso (considerando os coeficientes de ponderação) não deverá nunca exceder a esse valor.

Nas ligações a serem montadas no campo, utilizam-se preferencialmente os parafusos à solda. A NBR 8800 (ABNT,2008), item 7.1.10 indica as ligações onde devem ser usados solda ou parafuso de alta resistência e aquelas em que podem ser feitas com parafusos comuns ASTM A-307 ou isso 4.6. As ligações feitas nesse projeto encaixam-se nos casos que utilizam parafusos comuns.

Os parafusos comuns ASTM A307 são parafusos feitos de aço, sendo o tipo de mais baixo custo. Entretanto, podem produzir conexões que não sejam as mais econômicas, devido a sua baixa resistência. São empregados em estruturas leves, membros secundários, plataformas, passadiços, terças, vigas de tapamento, pequenas treliças etc., em que as cargas são de pequena intensidade e de natureza estática. Como se trata de um galpão pequeno será utilizado apenas parafusos comuns.

Nos parafusos comuns, os esforços de tração são transmitidos diretamente através de tração no corpo do parafuso e os esforços de cisalhamento são transmitidos por cisalhamento do corpo do parafuso e o contato de sua superfície lateral com a face do furo, devido ao deslizamento entre as chapas ligadas e além da resistência dos parafusos, deverão ser verificados também o esmagamento do furo, o rasgamento entre os furos e entre o furo e a borda da chapa como apresentado na figura 68; tratando-se de estados limites últimos, todas as verificações deverão ser feitas para as solicitações de cálculo, que são aquelas afetadas do coeficiente de ponderação das ações.

III. 5.1.1.2 ARRUELAS

A NBR 8800 (ABNT, 2008) especifica o uso de arruelas quando:

1- Partes parafusadas

Devem ser usadas arruelas biseladas endurecidas para compensar a falta de paralelismo, quando uma das faces externas das partes parafusadas tiver mais de 1:20 de inclinação em relação ao plano normal do eixo do parafuso. As partes parafusadas da estrutura não podem ser separadas por nenhum material que não seja aço estrutural, devendo ficar totalmente em contato quando montadas. Os furos podem ser puncionados, subpuncionados e alargados, ou broqueados.

2- Arruelas

Deverão ser usadas arruelas endurecidas nas seguintes situações: Sob o elemento que gira (porca ou cabeça de parafuso) durante o aperto, no caso de parafusos A490 apertados pelo método da rotação da porca e no caso de parafusos A325 ou A490 apertados com chave calibrada (isto é, por controle de torque);

Sob o elemento que não gira durante o aperto, no caso de parafusos A490, quando esse elemento assenta sobre um aço estrutural com limite de escoamento inferior a 280 Mpa. Serão utilizadas arruelas, pois elas conferem maior superfície de contato da porca com o parafuso, dando maior segurança a ligação.

III. 5.2 PRINCIPAIS LIGAÇÕES

III. 5.2.1 LIGAÇÃO VIGA-TESOURA

Na cumeeira, as tesouras são ligadas uma a outra, mas não ligadas à viga central, estas são ligadas às vigas laterais.

A chapa é dimensionada no sentido da força, logo a chapa no sentido da tesoura é analisada por ser a mais crítica, pois N_d na viga = 0; já a tesoura $N_d = -3,43$ kN (compressão) e 6,51 (tração).

Será analisada a parte da chapa de ligação no sentido da Força. Serão utilizados parafusos comuns ASTM A307. Adota-se inicialmente um diâmetro nominal de 12,5 mm ($\frac{1}{2}$ ").

Para o dimensionamento de ligações parafusadas precisamos determinar a menor resistência entre: a peça (na região com, e sem, furos).

A pressão de contato nos furos (esmagamento e rasgamento) Tração na chapa de ligação.

Os conectores são instalados em furos nas chapas. A execução desses furos é onerosa, tornando-se necessária a padronização de dimensões e espaçamentos, a fim de permitir a furações múltiplas nas fabricas.

Os furos padronizados para parafusos comuns deverão ter uma folga de 1,5 mm em relação ao diâmetro nominal do parafuso; essa tolerância é necessária para permitir a montagem das peças.

O esforço resistente de cálculo a tração será o menor dentre os encontrados nos seguintes casos:

III. 5.2.1.1 RESISTÊNCIA DO PARAFUSO AO CISLHAMENTO

$A_e = 0,7$. Área do Parafuso.

Essa equação admite a situação mais desfavorável de plano de corte passando pela rosca, considerando a área da seção efetivada da rosca igual a 0,7 da área da seção do fuste; para cada parafuso $R_{dv} = \text{Número de parafusos} \times R = 2 \cdot 22,08 = 44,16 \text{ kN/cm}$

A espessura da chapa será admitida inicialmente de 1,5 cm. Pois o processo mais econômico de furar é o puncionamento no diâmetro definitivo, o que pode ser feito para espessura t de chapa até o diâmetro nominal do conector mais 3mm.

$$A_b = 1,905 \text{ cm}^2$$

$$R_n = 3 \cdot 1,905 \cdot 41,5 = 237,17 \text{ kN}$$

$$F \cdot R_n = 0,6 \cdot 237,17 = 142,3 \text{ kN}$$

Já esta definida a espessura da chapa: 1,5 cm.

III. 5.2.1.2 RASGAMENTO

$$R_n = a \cdot t \cdot F_u \quad (3.4),$$

onde a é o diâmetro do parafuso, t é a espessura da chapa e F_u é a tensão de ruptura.

O valor mínimo de a deve ser de $d + 6\text{mm}$ para $d = 19\text{mm}$, para bordos laminados ou cortados com maçarico.

Foi assumido $a = 20 \text{ mm}$.

$$R_n = 2 \cdot 1,5 \cdot 41,5 = 124,5 \text{ kN}$$

$$0,6 \cdot R_n = 74,7 \text{ kN}$$

A norma AISC permite utilizar estes valores de resistência à pressão de apoio juntamente com regras geométricas que garantem a resistência a rasgamento:

Mínimo de dois conectores na direção da força Distância do centro do furo extremo à borda $a = 1,5 d$. Distância entre centros de furos $s = 3d$

A chapa inicialmente assumida passou no dimensionamento de pressão de contato em furos, respeitando os critérios acima.

III. 5.2.1.3 TRAÇÃO NA CHAPA

As chapas de ligação sujeitas a cisalhamento são dimensionadas com base nas resistências ao escoamento da seção bruta; as resistências obtidas foram comparadas a solicitação:

$$N_d = -13,18 \text{ kN} < 44,16 \text{ kN}$$

$$N_d = -13,18 \text{ kN} < 142,3 \text{ kN}$$

$$N_d = -13,18 \text{ kN} < 74,7 \text{ kN}$$

$$N_d = -13,18 \text{ kN} < 189 \text{ kN}$$

$$N_d = -13,18 \text{ kN} < 243,59 \text{ kN}$$

Logo, a ligação passa em todos os cálculos.

III. 5.2.2 LIGAÇÃO TESOURA-TESOURA

Solicitações de Cálculo: $N_d = 6,51 \text{ kN}$

Características do parafuso:

ASTM A307 $F_u = 41,5 \text{ KN/cm}$

$d = 1,27 \text{ cm}$

$A_g = 1,27 \text{ cm}$

$= d + 0,35 \text{ cm} = 1,62 \text{ cm}$

As terças são fixadas sobre as tesouras usando sistema de parafusos gancho.

III. 5.2.3 LIGAÇÃO VIGA-COLUNA

Esforço Solicitante de Projeto: $N_d = -13,18$ kN.

Será analisada a parte da chapa de ligação no sentido da Força.

Serão utilizados parafusos comuns ASTM A307. Adota-se inicialmente um diâmetro nominal de 12,5 mm e os conectores são instalados em furos nas chapas. A execução desses furos é onerosa, tornando-se necessária a padronização de dimensões e espaçamentos, a fim de permitir a furações múltiplas nas fabricas.

Os furos padronizados para parafusos comuns deverão ter uma folga de 1,5 mm em relação ao diâmetro nominal do parafuso; essa tolerância é necessária para permitir a montagem das peças.

O esforço resistente de calculo a tração será o menor dentre os encontrados nos seguintes casos:

III. 5.2.3.1 RESISTÊNCIA DO PARAFUSO AO CISALHAMENTO

A resistência de calculo de conectores a corte é dada por F , onde:

$$F = 0,60 \text{ (para parafusos comuns)}$$

III. 5.2.3.2 DIMENSIONAMENTO DA PRESSÃO DE CONTATO EM FUROS

Apoio:

Resistência de Contato = F

$$R_n = a \cdot A_b \cdot F_u \quad (3.5)$$

Onde:

$$a = 3$$

$$A_b = t \cdot d$$

Onde:

t = espessura da chapa de ligação

d = diâmetro do parafuso

O diâmetro do parafuso já foi definido como $\frac{1}{2}$ ".

A espessura da chapa será admitida inicialmente como 1,5 cm, pois o processo mais econômico de furar é o puncionamento no diâmetro definitivo, o que pode ser feito para espessura t de chapa ate o diâmetro nominal do conector mais 3mm.

$$A_b = 1,905 \text{ cm}^2$$

$$R_n = 3 \cdot 1,905 \cdot 41,5 = 237,17 \text{ kN}$$

$$F \cdot R_n = 0,6 \cdot 237,17 = 142,3 \text{ kN}$$

Já esta definida a espessura da chapa: 1,5 cm. Logo, a ligação passa em todos os cálculos de resistência.

III. 6 FUNDAÇÕES

Entende-se como fundação de uma estrutura a parte da obra civil na qual as cargas da superestrutura são transferidas para o substrato de suporte - solo ou rocha, através do elemento estrutural (aço, concreto, etc.).

As fundações são convencionalmente separadas em dois grandes grupos: o Fundações superficiais (ou "diretas" ou rasas); o Fundações profundas.

A distinção entre esses dois tipos é feita segundo o critério (arbitrário) de que uma fundação profunda é aquela cujo mecanismo de ruptura de base não surge na superfície do terreno, a norma NBR 6122 (ABNT) determinou que fundações profundas são aquelas cujas bases estão implantadas a uma profundidade superior a duas vezes sua menor dimensão e a pelo menos 3 metros de profundidade.

Alguns exemplos de fundações superficiais são: bloco, sapata, sapata corrida, viga de fundação, grelha, sapata associada, radier. No caso do presente projeto, a fundação superficial é o *radier*, elemento de fundação que recebe todos os pilares da obra.

A fundação em radier é adotada quando:

- As áreas das sapatas se aproximam umas das outras ou mesmo se interpenetram;
- Deseja-se uniformizar o recalque.

No entanto, a escolha do *radier* neste projeto está mais associada ao fato de que neste tipo de obra normalmente a solução mais usual em função da sua eficiência, racionalidade e custo são a laje de apoio ou *radier*. Se fosse utilizar sapatas, mesmo utilizando a dimensão mínima, estaria gastando mais que o necessário, devido as cargas de projeto serem muito baixas.

Para prever os esforços internos do radier de concreto armado, há quatro métodos que podem ser aplicados:

1. Método do AIC

2. Método das Diferenças Finitas
3. Método dos Elementos Finitos
4. Método Simplificado (como um conjunto de vigas)

O método AIC apresenta momentos fletores muito baixos. Foi optado por não utilizar programas para fazer o dimensionamento, por isso não foi escolhido os Métodos das diferenças finitas e dos elementos finitos.

O método escolhido foi então o Método Simplificado (como um conjunto de vigas), que divide o radier em faixas e calcula estas faixas como vigas. As vigas podem ser calculadas como flexíveis sobre base elástica.

Os Momentos Fletores apresentados nesse método são momentos das vigas e não podem ser comparados diretamente com os momentos fornecidos por uma solução de placa, que são momentos para uma seção de largura unitária. Uma divisão do momento fletor da viga pela largura da viga, por outro lado, forneceria um momento (unitário) médio muito baixo e certamente não cobriria os momentos máximos indicados numa solução como placa. Uma possível tentativa de se distribuir melhor os momentos da viga pela sua largura seria utilizar o critério das lajes cogumelo, incluído na Norma NBR 6118/80 (ABNT), item 3.2.2.11A conclusão que pode ser tirada é que os critérios de laje cogumelo incluídos na norma NBR 6118/80 (ABNT) são válidos para esse problema, pois estes critérios valem para lajes em que o painel se aproxima do quadrado e em que há continuação de vãos, que é exatamente o caso deste projeto. Logo, usam-se os critérios de laje cogumelo nesse dimensionamento.

Lajes Cogumelo são lajes apoiadas diretamente em pilares sem a presença de vigas, que possuem capitéis, mas também se estende a lajes sem capitéis. O termo “lajes lisas” é empregado para as lajes que se apóiam diretamente sobre pilares sem capitéis.

Em geral, a capacidade resistente das lajes cogumelo é determinada pelas tensões tangenciais de punção que ocorrem no entorno dos pilares de apoio. Para reduzir essas tensões de cisalhamento, podem-se alargar as seções de topo dos pilares, o que dá origem aos capitéis.

Atualmente tem-se evitado lajes com capitéis, devido às dificuldades de execução das fôrmas. Desse modo empregam-se lajes lisas, as quais são projetadas com uma espessura suficiente para garantir sua resistência à punção.

Dessa maneira, o radier projetado é o radier liso. O radier recebe carga de nove pilares. Foi assumido que o radier deverá ter uma largura de 10 x 10 m.

III. 6.1 RADIERA SER CALCULADO

Dividiu-se o *radier* em faixas a fim de calcular essas faixas como vigas.

A percussão do terreno em questão foi calculada pela tensão admissível do solo que foi definida como:

= $N_M / 30$ MPa, para areias

= $N_M / 50$ MPa, para argilas

Onde N_M é valor médio de N (número de golpes).

O solo considerado foi areia medianamente compacta. Essas considerações foram obtidas do projeto de referência.

Tabela III.1– Número de golpes em areias (Fonte :VELLOSO, 2004)

Solo	N	Compacidade
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa (o)
	5 – 8	Pouco Compacta (o)
	9 -18	Medianamente Compacta (o)
	19 - 40	Compacta (o)
	≥ 40	Muito Compacta (o)

Com tensão admissível de $s = N_M / 30 = 20 / 30 = 0,666$ MPa

III. 6.2 CONDIÇÃO FATOR DE SEGURANÇA

Tabela III. 2 – Fatores de Segurança (Fonte: NBR 6122)

Condição	Fator de Segurança
Capacidade de carga de fundações superficiais	3,0
Capacidade de carga de estacas ou tubulões sem prova de carga	2,0
Capacidade de carga de estacas ou tubulões com prova de carga	1,6

O coeficiente de segurança utilizado foi 3 reduzindo $0,666 / 3 = 0,222$ MPa = 222 kN/m²

A tensão máxima transmitida ao terreno quando encontrada, deverá se verificar se esta é inferior a tensão admissível do solo.

Com as respectivas cargas dos pilares e cargas distribuídas do solo, estão representadas as vigas e seus respectivos diagramas de momento fletor na tabela abaixo:

Tabela III.3 – Cargas dos Pilares (Fonte: VELLOSO,2004)

Pilares	Cargas dos Pilares (kN)
P1	6,59
P2	6,59
P3	6,59
P4	6,59
P5	6,59
P6	6,59
P7	13,18
P8	13,18
P9	13,18

III. 6.3 VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES TRANSMITIDAS AO TERRENO:

A maior tensão transmitida ao terreno será a da faixa mais solicitada que é de $3,95 \text{ kN/m} / 0,9625 \text{ m} = 4,1 \text{ kN/m}^2 < 222$, que é o valor obtido dividindo-se a tensão admissível do solo pelo coeficiente da segurança. Logo o solo resiste à solicitação.

Esse valor $0,9625 \text{ m}$, é uma consideração conservadora, a favor da segurança.

Após o cálculo dos momentos fletores nas vigas, faz-se à distribuição das mesmas em faixas de lajes. Para isto os painéis das lajes, com os cantos correspondendo aos pilares, são divididos em quatro faixas.

A distribuição dos momentos fletores nas faixas da laje é feita da seguinte maneira:

- a) 45% dos momentos negativos para as duas faixas internas;
- b) 27,5% dos momentos negativos para cada uma das faixas externas;
- c) 25% dos momentos positivos para as duas faixas internas;
- d) 37,5% dos momentos positivos para cada uma das faixas externas.

A força normal mais crítica dos pilares será utilizada para verificar a resistência da laje a punção.

Punção é o estado limite último por cisalhamento no entorno de forças concentradas (cargas ou reações). Sua análise é diferente daquela realizada para o estado limite último por força cortante, sendo de fundamental importância nesse caso. A ruptura por punção se dá com a propagação de fissuras inclinadas através da espessura da laje, com uma inclinação média da ordem de 30° .

A seguir apresenta-se a formulação para esse problema, com algumas simplificações introduzidas pela norma espanhola (Instrucción de Hormigón Estructural, 1999).

A resistência de lajes submetidas a forças concentradas é verificada empregando-se uma tensão de cisalhamento nominal em uma superfície crítica concêntrica a região carregada.

Essas tensões tangenciais atuando na superfície crítica não tem significado físico, mas esse procedimento empírico permite representar satisfatoriamente os resultados experimentais disponíveis.

A superfície crítica é definida a uma distancia igual a $2d$ do contorno da área de aplicação da força e deve ser construída de maneira a minimizar o perímetro u .

A altura útil da laje, d , é considerada constante. Inicialmente é admitido que $d = 7$ cm. A partir dessa colocação, tem-se que o perímetro crítico é dado por:

$$\text{Perímetro Crítico } u = 68 \text{ cm} \cdot 4 = 272 \text{ cm} = 2,72 \text{ m}.$$

A força F_{sd} concentrada é a força que produz punção da laje. Para a verificação das tensões tangenciais na superfície crítica, admite-se que uma fração do momento M_{sd} é transmitida ao pilar por flexão e que a fração restante, igual a kM_{sd} , é transferida através de tensões tangenciais ao longo da superfície crítica.

Os valores de F e M dos pilares são:

$$F = 13,18 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = 3,50 \text{ kN.m}$$

III. 6.4 ESFORÇOS NO *RADIER*

O coeficiente k é dado na tabela abaixo, em função da relação entre as dimensões da seção do pilar.

Tabela III.4– Coeficiente k (Fonte: VELLOSO, 2004)

c_1/c_2	0,5	1,0	2,0	3,0
k	0,45	0,60	0,70	0,80

Onde c_1 e c_2 são as dimensões da seção do pilar. No entanto, como foram utilizadas placas de base nas colunas, os valores considerados para c_1 e c_2 são referentes a essas placas.

c_1 é a dimensão do pilar paralela à excentricidade da carga = 40 cm

c_2 é a dimensão do pilar perpendicular a excentricidade da carga = 40 cm²

A força de puncionamento efetiva F , levando em conta o efeito do momento transferido da laje para o pilar, é dada por:

$$F_{sd,ef} = F_{sd} \cdot \left(1 + k \frac{M_{sd}}{F_{sd}} \cdot \frac{u_1}{W_1} \right) \quad (3.6)$$

F= 65,344 kN

Uma vez determinada a força de puncionamento efetiva, $F_{sd,ef}$, deve-se verificar o cumprimento de restrição = 20 MPa

Conclui-se pela verificação através da equação, que não é necessário a utilização de armadura de puncionamento $2222,58 \text{ kN/m}^2 < 4860 \text{ kN/m}$

A laje terá apenas armadura a flexão. Os momentos já são conhecidos pelo método simplificado, logo, a primeira etapa nesse dimensionamento é:

III. 6.5 DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA A FLEXÃO:

Na tabela 6.2 da NBR 6118/2004, estão relacionadas às classes de agressividade ambiental. A casa em estrutura metálica projetada pertence a classe II, que é a classe de agressividade ambiental moderada. O ambiente em questão é classificado como urbano, e o risco de deterioração da estrutura é pequeno.

Pode-se, no entanto admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais), como é o caso, que pode ser então considerado incluso na classe I de agressividade.

Pela tabela 7.2 da NBR 6118, o cobrimento mínimo para estruturas na classe I é de 20 mm.

O cobrimento adotado é então de 3 cm para o cobrimento inferior e para o cobrimento superior é adotado o mínimo de 2 cm.

O momento atuante na seção (M_{sd}) é assumido como o maior momento encontrado pelo método simplificado, mais metade do momento na base do pilar, pois a metade desse momento atuante no pilar solicita a laje.

$$M = 3,5/2 + 0,7792 = 2,529 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{sd} = 1,4 \cdot 2,529 = 3,54 \text{ kN.m/m}$$

É assumido que o momento está em kN.m/m, pois considera-se que ele esteja distribuído numa faixa de 1m; $b = 1\text{m}$ ou 100 cm. O dimensionamento das seções foi feito para essa seção retangular de largura unitária ($b = 1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$) e altura igual à espessura total da laje, sujeita a um momento fletor.

Foi utilizado concreto com $F_{ck} = 20 \text{ MPa}$ $F_{cd} = 20/1,4 = 14,28 \text{ MPa}$

Foi utilizado aço CA60 $F_{yd} = 600 / \gamma_c = 600 / 1,15 = 521,8 \text{ MPa}$

O dimensionamento foi realizado a flexão da seção, ou seja, a uma laje com armadura simples (domínio 2 ou 3) e que altura da zona comprimida (x) seja menor ou igual a altura limite entre o domínio 3-4 (X). A distância foi determinada através da equação abaixo (NBR 8800):

$$x = 1,25d \left[1 - \sqrt{1 - \frac{M_{sd}}{0,425bd^2 f_{cd}}} \right] \leq x_{34} \quad (3.7)$$

O x encontrado deve ser inferior ao x_{34} para estar nas faixas de domínio 2 ou 3.

A determinação da área de aço necessária para a seção foi obtida através da equação abaixo:

$$A_s = \frac{M_{sd}}{f_{yd} (d - 0,4x)} \quad (3.8)$$

Assumindo Bitola $f \text{ } 3,8 \text{ mm}$.

$A_f \text{ (cm}^2\text{)} 0,113$ s calculado (cm) 11,65 min 0,0015

$A_{s\text{min}} \text{ (cm}^2\text{)} 0,7035$ s max (cm) 16,06

s_{max} Tomado 11,65

O S_{max} tomado deve ser o menor de todos os abaixo:

- S calculado = 11,65 cm
- $S_{\text{max}} = 16,06 \text{ cm}$
- $2h = 14 \text{ cm}$
- 20 cm

Logo foi escolhido um espaçamento de 14 cm.

Foi então utilizado $f \text{ } 3,8 \text{ mm}$ com um espaçamento de 11,65.

Telas soldadas AÇO CA-60

Espaçamento entre fios(cm) e Diâmetro(mm)

Foi adotado então a tela soldada tipo Q113, que atende ao $A_{s\text{min}}$ necessário, respeitando o limite do espaçamento máximo admitido. Detalhamento da Armadura:

Foi feito um único detalhamento para a armadura negativa e positiva, pois para simplificar o cálculo foi feito um único dimensionamento, para o momento mais crítico, no caso o positivo, conforme indicado pelo método simplificado.

O rolo de tela soldada, tem 2,45 m de largura, conforme indicado no detalhe, e a distância de 25 cm de tela sobreposta obedece ao limite que é de 2 x o espaçamento, que no caso é de 10 cm.

CAPÍTULO IV

ANÁLISE ESTRUTURAL UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Para avaliar o comportamento estrutural de uma casa popular com estrutura metálica desenvolveu-se um modelo baseado no método de elementos finitos que procura representar as principais características estruturais e condições de carregamento.

Tomou-se como base para a modelagem a configuração do protótipo desenvolvido pela Usiminas, descrito no capítulo anterior e denominado de projeto USIMINAS.

A análise desenvolvida com este modelo tem como objetivo verificar a viabilidade de redução de peso da estrutura metálica através de uma análise de tensões mais refinada do que a proporcionada pela norma. Dessa forma desenvolveu-se um segundo modelo denominado de projeto POPMETAL que apresenta a mesma geometria básica do projeto USIMINAS com perfis metálicos com uma espessura menor.

A redução de espessura da chapa dos perfis da estrutura metálica de uma construção residencial unifamiliar adequada a moradores de baixa renda resulta na redução do peso total da estrutura, permitindo a redução dos custos finais da obra. A redução do preço total de empreendimentos populares possui uma alta relevância, por ser uma área onde os recursos disponíveis são normalmente bastante reduzidos. Considerando os números de déficit habitacional apresentados no capítulo I, que são da ordem milhares de unidades, uma redução nos custos finais, sem que haja prejuízo da segurança, qualidade, estabilidade e durabilidade da estrutura, poderá ter um impacto muito grande em termos econômicos, beneficiando diretamente as classes envolvidas.

IV. 1 A SIMULAÇÃO PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

O termo Simulação é derivado do Latim (*“simulatus” = “imitar”*) e de maneira geral pode-se dizer que a simulação é definida como a imitação de uma situação real, através do uso de modelos (Portugal, 2005). Para o autor, *“a simulação é um ensaio da realidade futura”*, que permite, por exemplo, verificar o comportamento de uma estrutura que será executada posteriormente.

SHANNON (1998) apud. PORTUGAL (2005) propõe, para a simulação, a sistematização do conhecimento nas etapas que se apresentam:

- Formulação do Problema – Identificar a situação problema do sistema, definição dos objetivos;
- Planejamento do Projeto - os critérios de avaliação e os recursos necessários
- Definição do Sistema – determinação dos limites, restrições e medidas de efetividades a serem usadas na definição e estudo do sistema;

- Formulação do Modelo Conceitual– redução ou abstração do sistema real a um bloco ou a um fluxograma lógico;
- Projeto Experimental Preliminar – Testa a validade do modelo conceitual;
- Preparação dos Dados - Identificação dos dados necessários para o modelo e redução a uma forma apropriada;
- Programação – descrição do modelo numa linguagem apropriada que seja aceitável na máquina usada;
- Validação – verificação de que o comportamento do modelo está de acordo com a situação real dentro de um certo grau de confiança;
- Planejamento do Experimento – planejamento de um experimento que vá gerar as informações desejadas;
- Experimentação – execução da simulação para gerar os dados desejados e efetuar as análises de sensibilidade;
- Análise de Resultados da Simulação – realização de inferências a partir dos dados gerados pela simulação ou comparar com os parâmetros de projeto;
- Documentação – é o trabalho e manutenção do modelo para futuras alterações, alongando-se assim a vida útil do modelo.

O Método de Elementos Finitos (MEF) é um método numérico que pode ser empregado para analisar uma gama bastante grande de problemas em engenharia, através da simulação numérica. Atualmente existem diversos pacotes comerciais de simulação numérica, como ANSYS, Nastran, Abaqus e Cosmos, que são baseados no MEF e que são utilizados como ferramenta de projeto para a análise de problemas complexos (PACHECO *et al*, 2005).

A aplicação do MEF a um problema qualquer (térmico, mecânico, análise modal, etc.) normalmente resulta em um sistema linear de equações que pode ser escrita na forma $[K] \{ \Phi \} = \{ F \}$, onde $[K]$ é a matriz de rigidez, $\{ F \}$ o vetor forçamento e $\{ \Phi \}$ o vetor com as variáveis nodais. A variável nodal pode representar uma variável de interesse como deslocamento, tensão, fluxo de calor, entre outros associados a uma infinidade de fenômenos físicos,

Neste trabalho são desenvolvidas simulações numéricas utilizando o pacote comercial de elementos finitos ANSYS, (ANSYS, 2005) para avaliar o comportamento mecânico de casas populares com estrutura metálica.

IV. 2 MODELOS DOS PROJETOS USIMINAS E POPMETAL

Para avaliar a integridade estrutural de uma estrutura metálica que sustenta uma construção, toma-se como ponto de partida o projeto de arquitetura. Uma vez que o projeto contém a descrição da geometria, este servirá de base para a formulação dos modelos de

elementos finitos, mantendo características fundamentais como compartimentação e padrão construtivo.

Neste trabalho o modelo baseado no MEF é aplicado ao estudo de uma residência de uso estritamente residencial unifamiliar composta de sala, dois quartos, cozinha e banheiro, destinada a atender população de baixa renda, para uma família de até quatro pessoas, como por exemplo, um casal com dois filhos.

Dois projetos são considerados: USIMINAS e POPMETAL. A área total construída é idêntica para os dois projetos, inclusive foram consideradas as mesmas técnicas construtivas para ambos.

As fundações e infra-estrutura dos dois projetos são idênticas, pois o objetivo da análise é avaliar o desempenho considerando apenas uma única dimensão: a espessura de todos os perfis estruturais metálicos.

A planta de arquitetura legal é apresentada na Figura IV. 1, IV.2 e IV.3 com as representações da planta de fachada frontal e fachada lateral, levando-se em conta o código de obras do Município do Rio de Janeiro.

Na Figura IV. 4 é apresentada a arquitetura humanizada para melhor visualização da ocupação do espaço. Tal representação, como o próprio nome, humanizada, direciona o visual de peças domésticas de decoração de fácil compreensão e presentes no dia a dia.

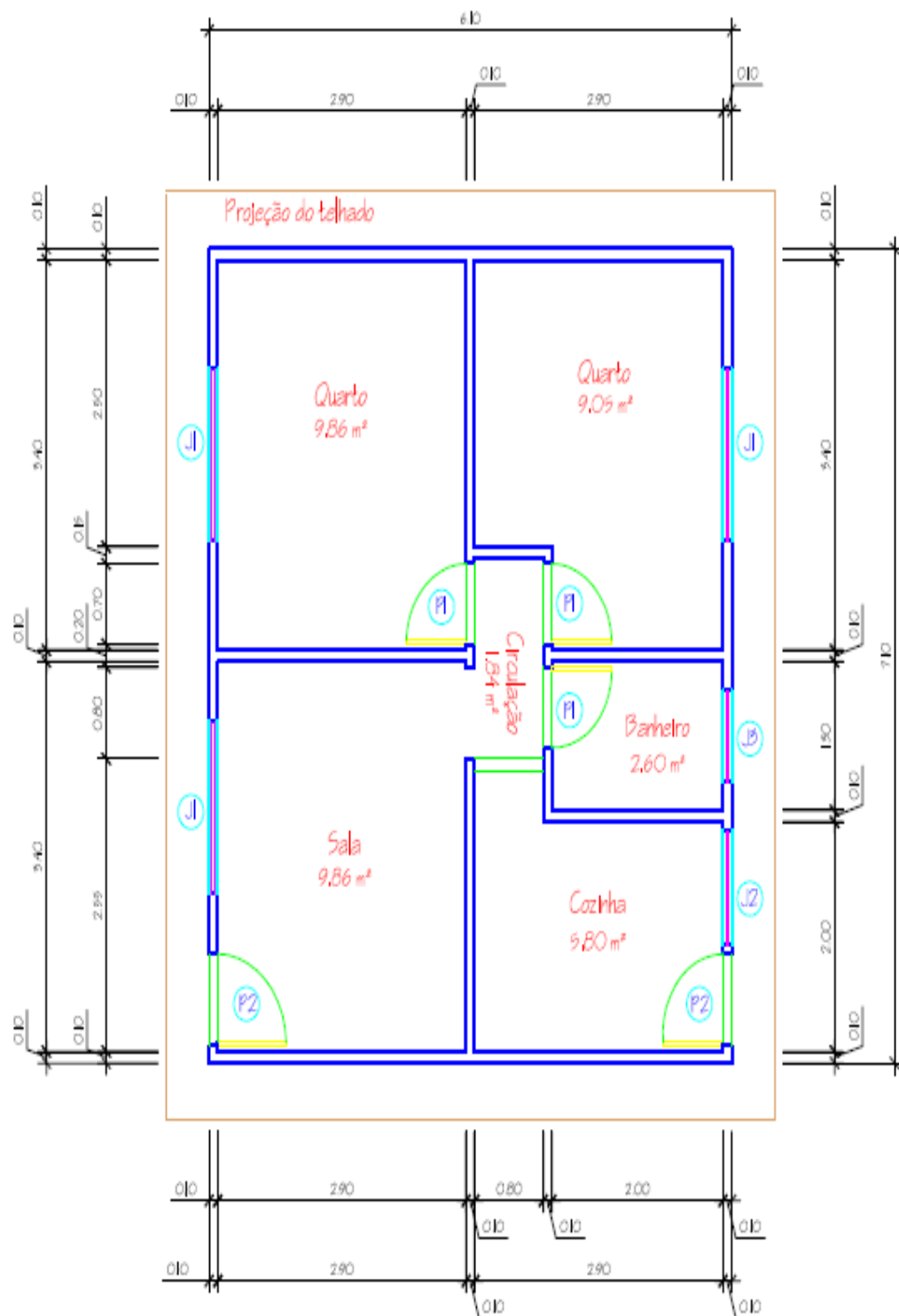
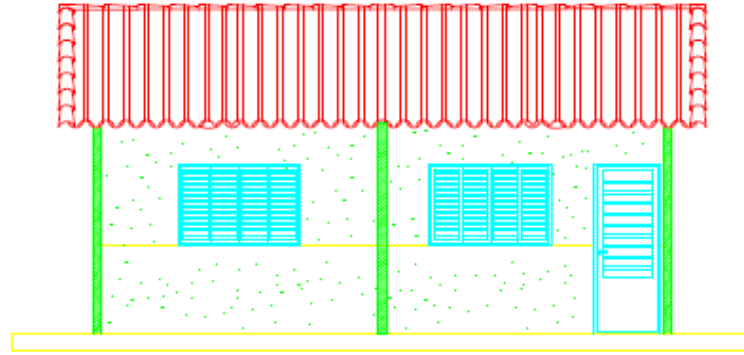


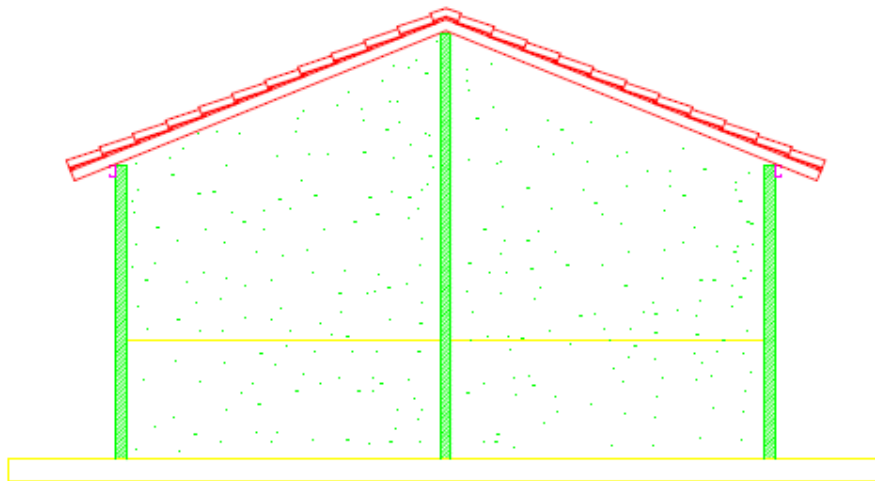
Figura IV. 1– Planta baixa de unidade residencial unifamiliar térrea.



FACHADA FRONTAL

Escala 1/100

Figura IV. 2– Planta da fachada frontal.



FACHADA LATERAL

Escala 1/100

Figura IV. 3– Planta da fachada lateral.

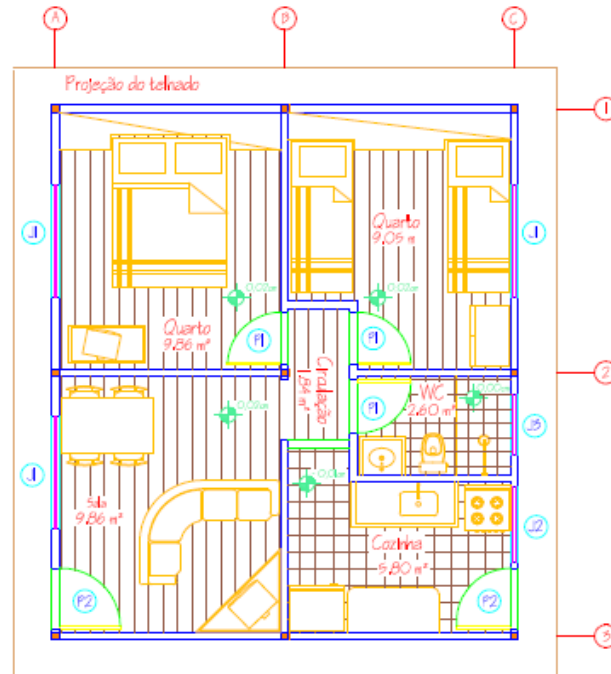


Figura IV. 4 – Planta de Arquitetura humanizada.

A simulação é realizada dentro do ambiente computacional do pacote comercial de elementos finitos ANSYS (ANSYS, 2006). Após definição da geometria do projeto de arquitetura, é necessário representá-la por intermédio de elementos básicos como pontos, linhas e áreas.

A geometria escolhida apresenta nove pilares metálicos para apoio da estrutura de sustentação do telhado, conforme mostrado na figura IV. 5.

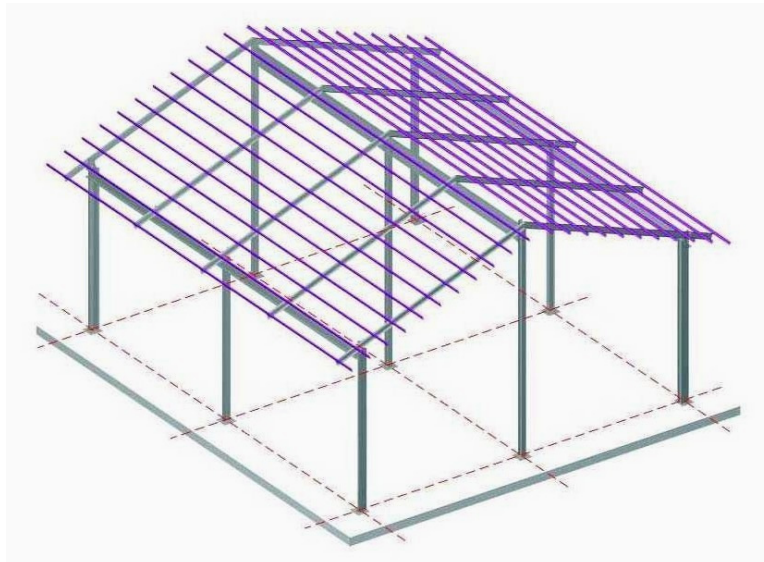


Figura IV. 5 – Esquemático da estrutura do modelo simulado (Fonte: USIMINAS)

As Figuras IV. 6, IV.7 e IV.8 apresentam, respectivamente, os pontos (*keypoints*), as linhas e as áreas utilizados para descrever a geometria do modelo. As linhas são utilizadas para representar os perfis metálicos enquanto as áreas são utilizadas para representar as paredes e o telhado. Em função da simetria global da estrutura em relação a um plano vertical ao longo da sua maior dimensão, para a geração da geometria utiliza-se somente metade da estrutura. Apesar da simetria da geometria, o carregamento de vento nas paredes elimina a condição de simetria. Dessa forma, após a construção da geometria utilizando os pontos, linhas e áreas, a geometria é rebatida através do plano de simetria vertical.

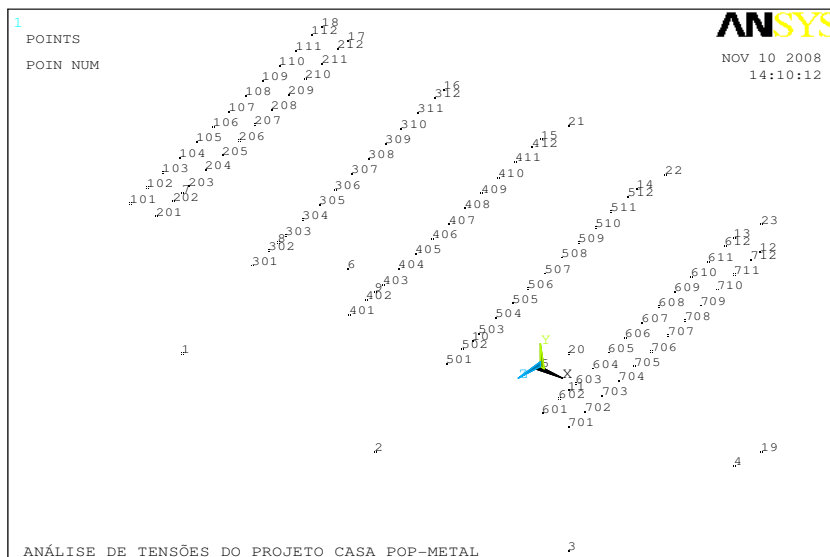


Figura IV. 6 – Representação dos pontos (*keypoints*). Modelo para a metade da construção.

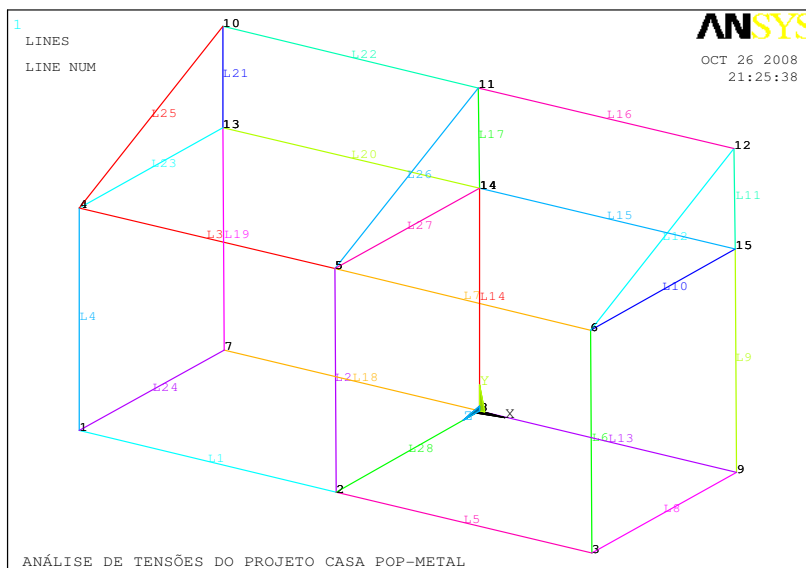


Figura IV.7 – Representação das linhas do modelo. Modelo para a metade da construção.

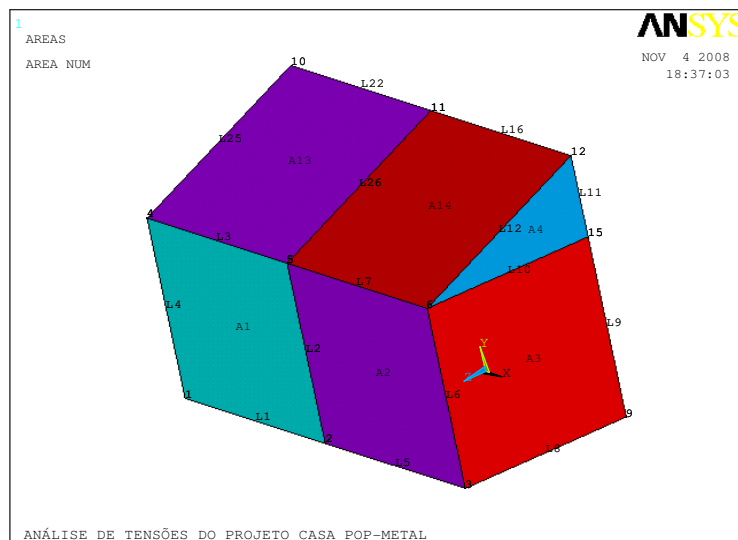


Figura IV. 8 – Representação das áreas. Modelo para a metade da construção.

Nas análises desenvolvidas, utilizaram-se elementos de viga BEAM4 (dois nós com 3 graus de liberdade de deslocamento e três graus de liberdade de rotação por nó), para modelar os perfis metálicos, e elementos de placa SHELL63 (quatro nós com 3 graus de liberdade de deslocamento e três graus de liberdade de rotação por nó), para modelar as paredes e o telhado, conforme mostra a figura IV.9.

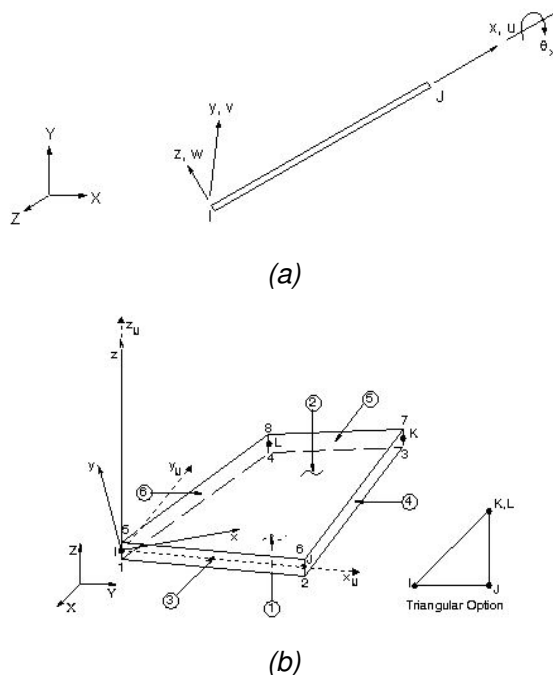


Figura IV. 9 – Elementos BEAM4 (a) e SHELL63 (b). (ANSYS, 2006)

A figura IV. 10 mostra o modelo para a estrutura inteira. Os números indicados nas linhas indicam os tipos de perfis utilizados na estrutura metálica. A Tabela IV. 1 apresenta as

características geométricas de cada perfil para os dois projetos analisados, onde se observa que a diferença entre os dois projetos está na espessura dos perfis: 2,00mm para o projeto USIMINAS e 1,52 mm para o projeto POPMETAL. A Tabela IV. 2 apresenta as propriedades mecânicas dos materiais dos perfis (aço) e das paredes (alvenaria).

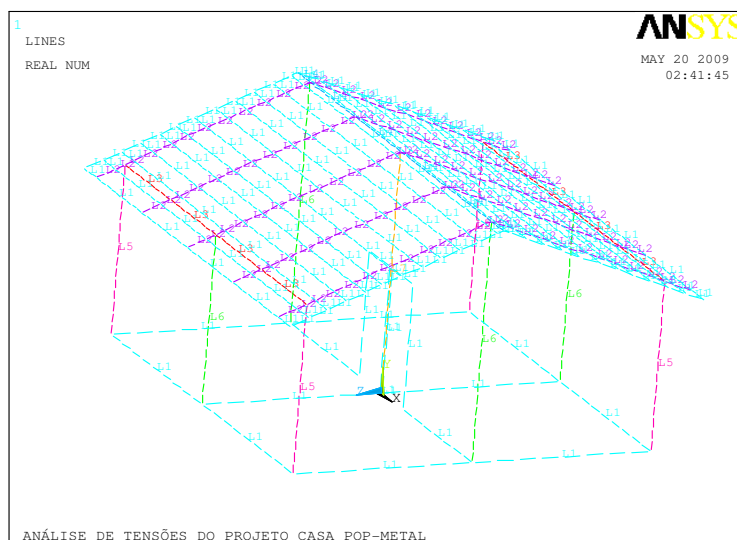


Figura IV. 10– Estrutura metálica. Modelo para a estrutura inteira com os tipos perfis.

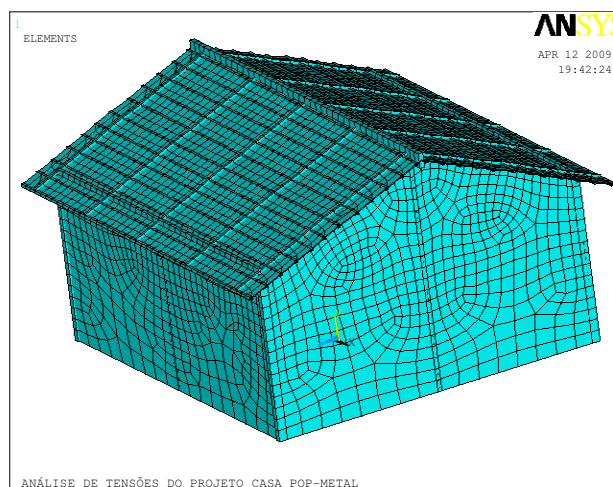
Tabela IV. 1 - Características geométricas dos perfis para os projetos analisados. (Fontes: USIMINAS, 2002 e POPMETAL, 2009)

PERFIL	Nº	GEOMETRIA	
		USIMINAS(e=2,00mm)	POPMETAL(e=1,52mm)
ripas	1	Z 50X25 x 2,00 mm	Z 50X25 x 1,52 mm
caibros	2	U 100X50X17X2,00mm	U 100X50X17X1,52mm
vigas laterais	3	U 150X60X20X2,00mm	U 150X60X20X1,52mm
cumeeira	4	U 250X85X25x2,00mm	U 250X85X25x1,52mm
pilares 1	5	U 100X50X2,00mm DUPLO	U 100X50X1,52mm DUPLO
pilares 2	6	U 100X40X2,00mm DUPLO	U 100X50X1,52mm DUPLO

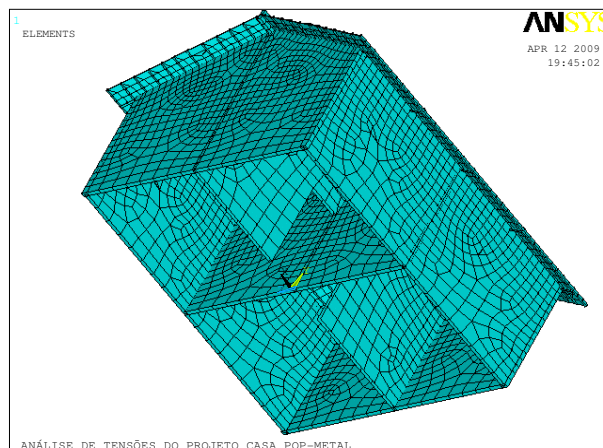
Tabela IV. 2 - Propriedades Mecânicas dos Materiais (NB-14)

Material	Módulo de Elasticidade E (GPa)	Limite de Escoamento S_Y (MPa)	Limite de Resistência S_U (MPa)	Coefficiente de Poisson	Massa Específica (kg/m ³)
Aço A-36	210	250	400	0,29	7800
Alvenaria	7	-	4,5	0,25	1200

A figura IV. 11 mostra a malha de elementos finitos para a estrutura inteira. A malha foi obtida após uma análise de convergência.



(a)

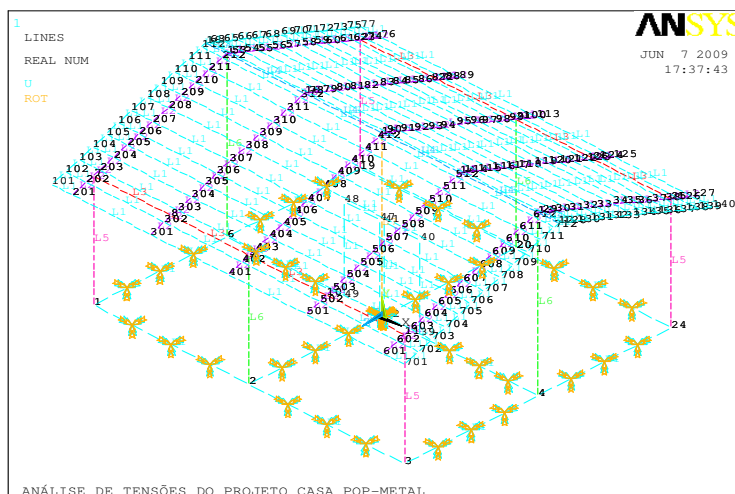


(b)

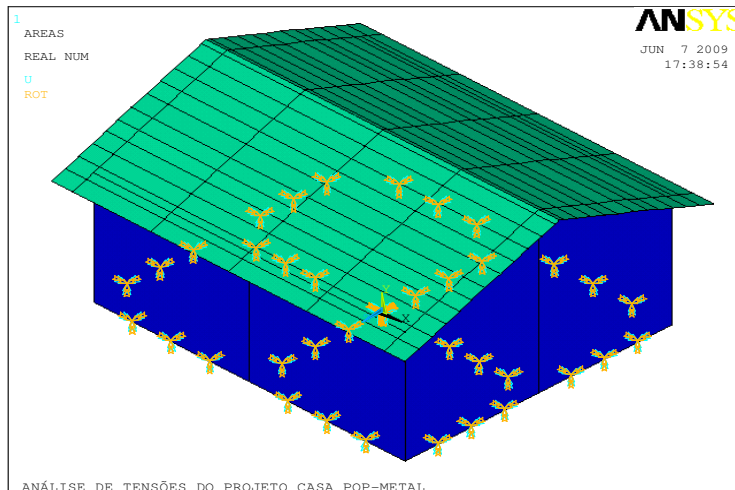
Figura IV. 11– Malha de elementos finitos. Vista superior (a) e vista inferior (b).

A seguir apresentam-se as condições de contorno e os carregamentos aplicados associados à carga de vento e peso das telhas (mais sobrecarga). Como as condições de

contorno e carregamentos são idênticas para os dois projetos nas próximas figuras não é feita distinção entre os dois. A figura IV. 12 apresenta as condições de contorno aplicadas nas linhas(a) e nas áreas da base(b) da construção associadas à fixação na placa de fundação.



(a)



(b)

Figura IV. 12 – Condições de contorno aplicadas nas linhas da base.

A Figura IV. 13 mostra o carregamento de força de vento aplicado nas paredes e no telhado da construção como uma pressão distribuída nas áreas. No caso do telhado, soma-se à carga de vento, um carregamento de pressão equivalente ao peso das telhas e à sobrecarga

prevista pela norma NBR 8800 (ABNT 2008). A Tabela IV. 3 apresenta os valores de pressão associados a estes dois carregamentos.

Apesar do carregamento da força de vento atuar em uma direção inclinada em relação à direção normal à área que representa o telhado, nas análises desenvolvidas considera-se que a força de vento atua em uma direção normal ao plano do telhado.

Esta é uma abordagem conservativa, uma vez que resulta um carregamento superior ao que ocorre no caso real. Para o carregamento de vento, duas situações são analisadas: vento lateral e vento de frente. Este carregamento é modelado aplicando-se uma pressão homogênea nas áreas associadas às paredes submetidas à carga de vento. As respectivas situações estão descritas nas Figuras IV. 13, IV. 14.

Tabela IV. 3 – Cargas distribuídas associadas ao efeito do vento e ao peso das telhas.

Tipo de Carga	Pressão (Pa)
Carga de vento lateral	496 (maior valor)
Carga de vento frontal	496 (adotado maior valor)
Peso das telhas + sobre carga	643

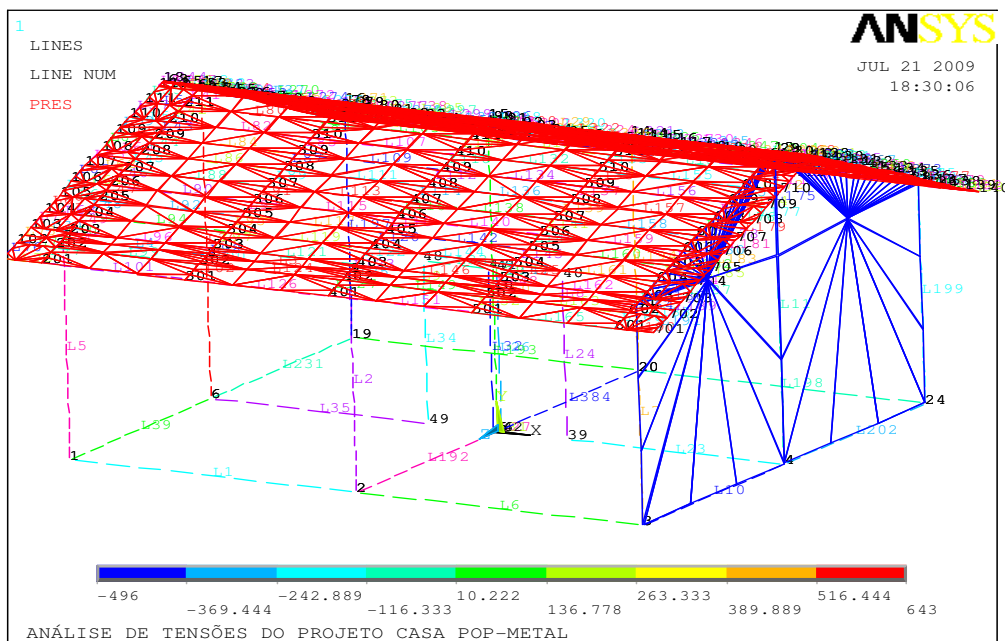


Figura IV. 13 – Carregamento da pressão do vento aplicada na área lateral e no telhado.

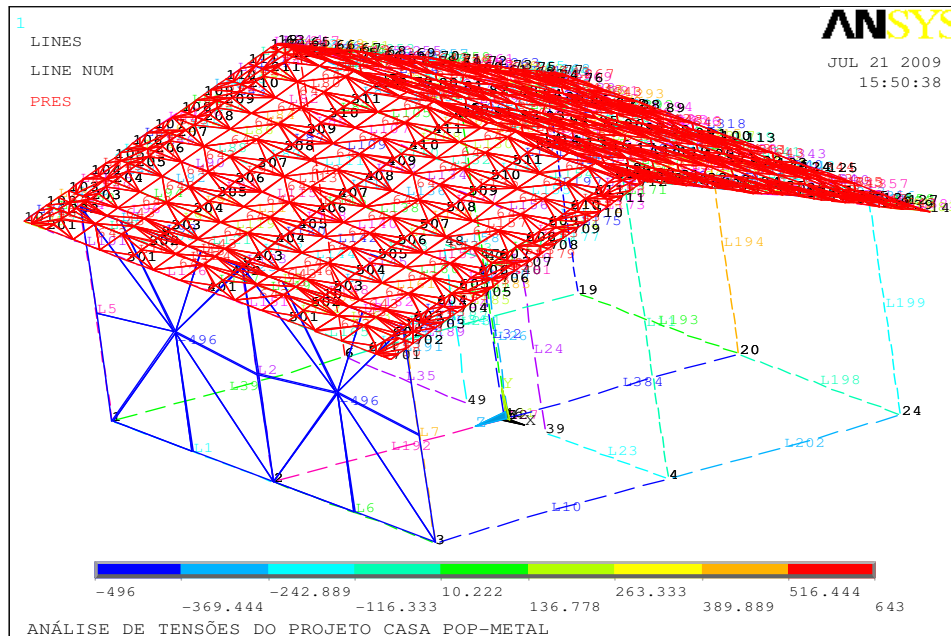


Figura IV. 14 – Carregamento da pressão do vento aplicada na frente e no telhado

Conforme já foi citado, além da força do vento, o peso próprio da estrutura também é considerado utilizando o comando ACEL do ANSYS. Para tal consideram-se as massas

específicas dos materiais (perfis metálicos, paredes e telhas) e a aceleração da gravidade igual a $9,81 \text{ m/s}^2$. O comando ACEL aplica uma força de corpo nos nós do modelo equivalente ao peso dos componentes da estrutura.

CAPÍTULO V

SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

Neste capítulo são desenvolvidas simulações numéricas com o modelo descrito no capítulo anterior com o objetivo de avaliar a viabilidade de reduzir o peso da estrutura metálica de uma habitação popular desenvolvida pela Usiminas. Para tal são analisados dois projetos: USITETO e POPMETAL, levando-se em conta carregamentos idênticos em ambos modelos.

Para as análises desenvolvidas foi adotado o padrão da maior carga de vento, que corresponde ao vento incidente na parte lateral da construção (vento lateral). Esta situação apresenta um impacto maior em termos estruturais do que a situação para a carga de vento na frente da construção. As figuras IV.13 e IV.14 mostram a carga de vento aplicada na estrutura para as duas situações. Os valores de carga aplicados foram obtidos através da aplicação da norma NBR 6123 à geometria estudada e estão listados na Tabela IV. 3.

As figuras mostradas a seguir apresentam os resultados em termos de tensão equivalente de *von Mises* e de deslocamentos para as duas situações analisadas.

A figura V.1 apresenta a estrutura metálica do projeto USITETO enquanto que a figura V.2 apresenta a estrutura metálica do projeto POPMETAL. As diferentes cores indicam diferentes perfis, podendo-se observar a utilização de perfis diferentes para as duas situações. Neste aspecto o projeto POPMETAL adotou o mesmo perfil para todas as colunas com o objetivo de otimizar o projeto. A utilização de um único perfil contribui para simplificar as operações de montagem e facilitar questões associadas à aquisição e ao controle de estoque de material.

As colunas, no projeto USITETO, de extremidade, de meio de vão de periferia e a central são representadas, respectivamente, na cor verde, rosa e marrom.

As vigas externas, a viga central da cumeeira, as vigas das terças e as ripas são representadas, respectivamente, nas cores vermelho azul, lilás e azul claro.

No projeto POPMETAL, todos os perfis foram reduzidos em termos de espessura de 2,00mm para 1,52mm como já foi comentado anteriormente. Todos os pilares são representados na cor rosa, enquanto que as peças restantes seguem a convenção utilizada para o projeto USITETO.

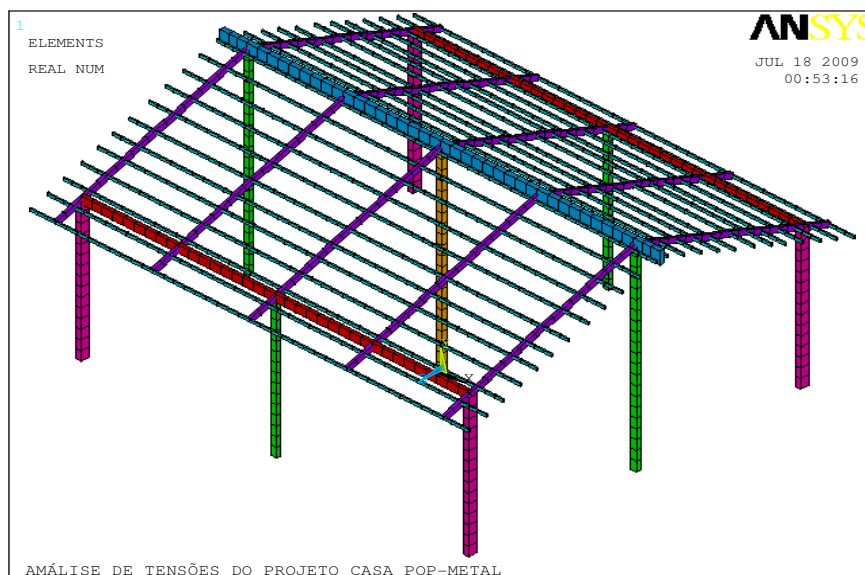


Figura V.1 – Perfis da estrutura metálica. Projeto USITETO.

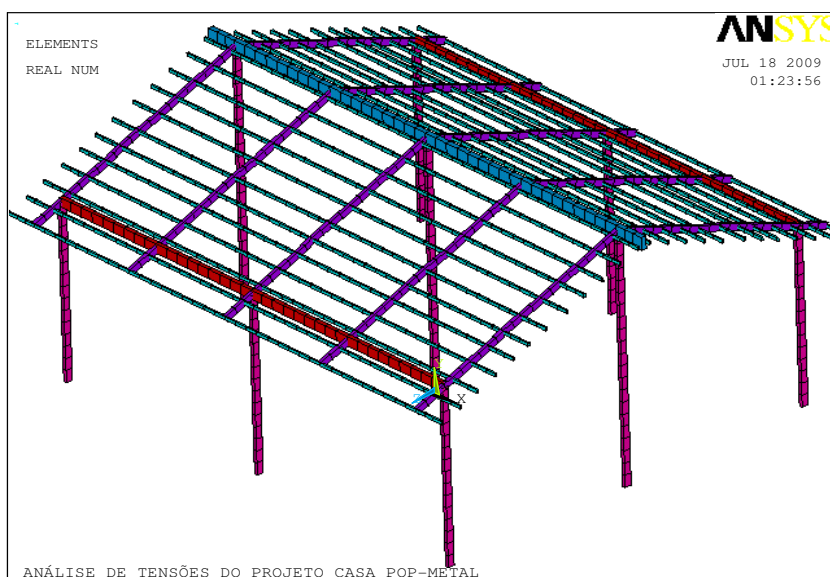


Figura V.2 – Perfis da estrutura metálica. Projeto POPMETAL.

As figuras V.3 e V.4 apresentam as duas estruturas metálicas deformadas. Nas figuras a escala do deslocamento não é a real, utilizando-se uma escala exagerada para facilitar a visualização das regiões de deformação máxima da estrutura. As peças que sofreram maior deformação foram as terças pares (2ª e 4ª) contadas da extremidade para dentro de ambos os lados. Isto se deve ao fato de que as outras estão apoiadas nas paredes da casa, o que reduz o seu deslocamento.

Nas figuras observam-se deslocamentos máximos de 3,002 mm para o projeto USIMINAS e de 3,534 mm para o projeto POPMETAL. Isso indica um aumento do deslocamento máximo de aproximadamente 17,73%. No entanto, o valor de deslocamento máximo obtido satisfaz a norma NBR 8800, cujo valor da flexa máxima deve ser inferior ao limite de esbeltez, que é igual ao comprimento do vão dividido por 200, ou seja, $4120\text{mm}/200 = 20,6\text{mm}$.

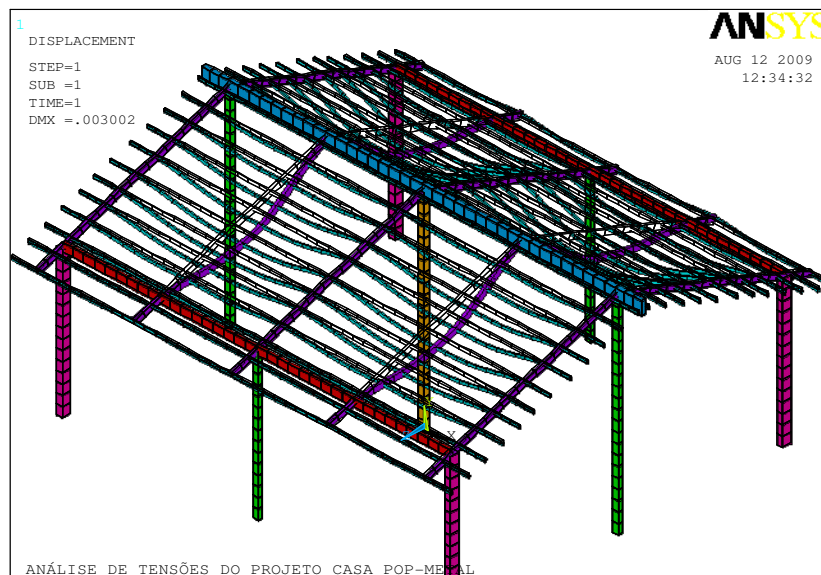


Figura V.3 – Deslocamentos. Projeto USITETO

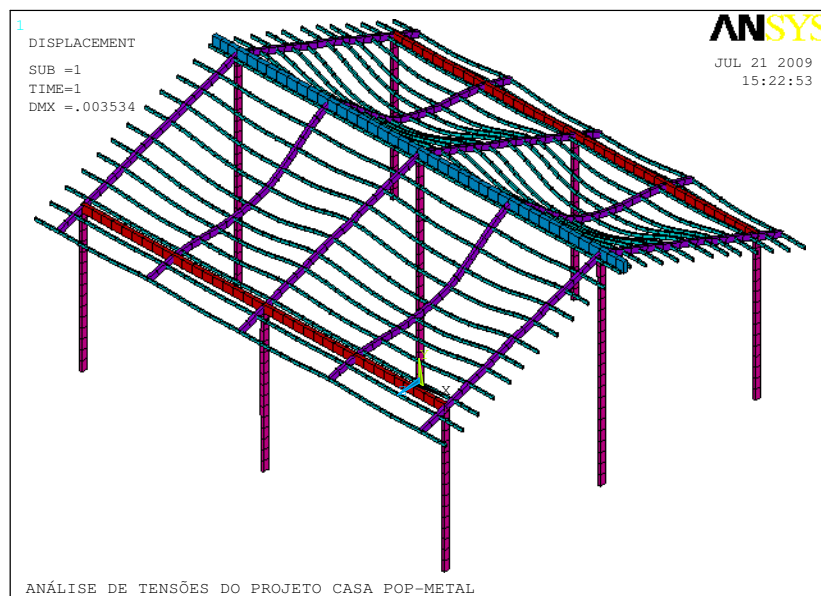


Figura V.4 – Deslocamentos. Projeto POPMETAL.

As figuras V.5 e V.6 apresentam a distribuição de tensão equivalente de *von Mises* na estrutura metálica para o projeto USIMINAS e POPMETAL, respectivamente. A cor vermelha representa o valor máximo, enquanto que a cor azul representa o valor mínimo. Em nenhuma situação o valor da tensão equivalente de *von Mises* ultrapassa o limite de escoamento do material que é igual a 250MPa, valor este apresentado na Tabela IV-2 do capítulo anterior.

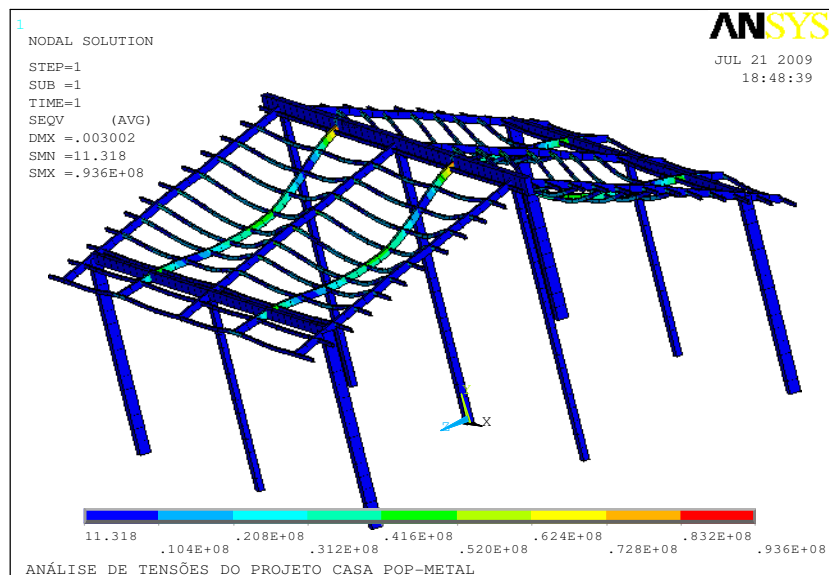


Figura V.5–Distribuição da tensão equivalente de von Mises. Projeto USITETO

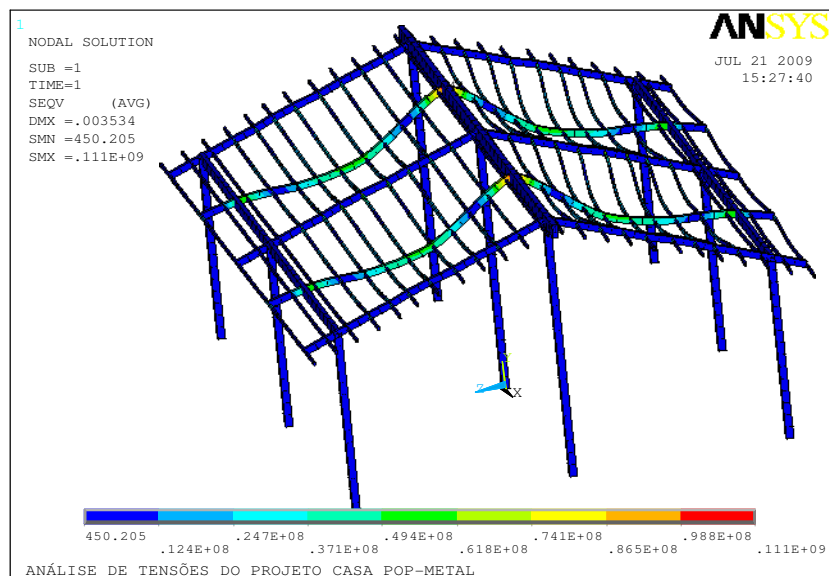
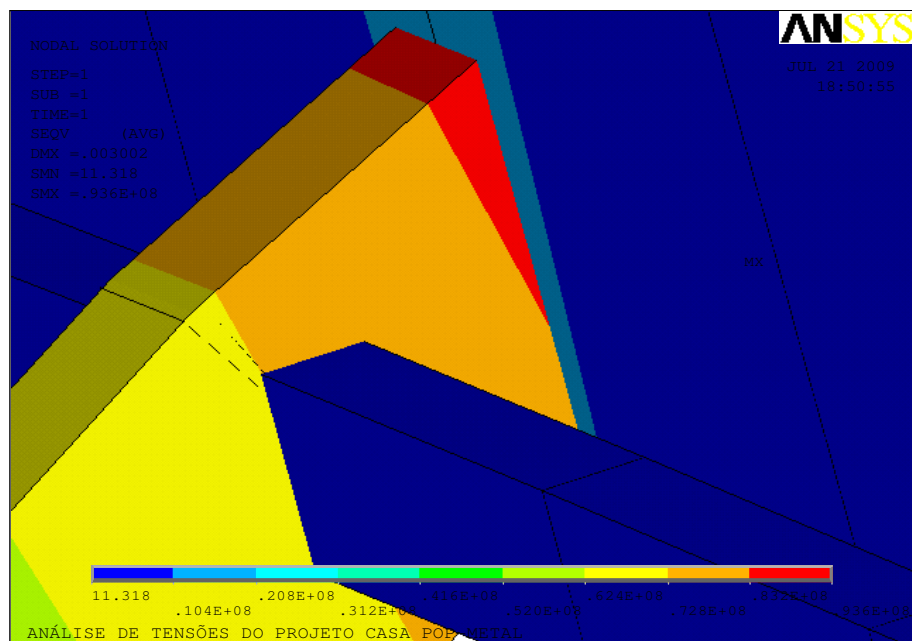
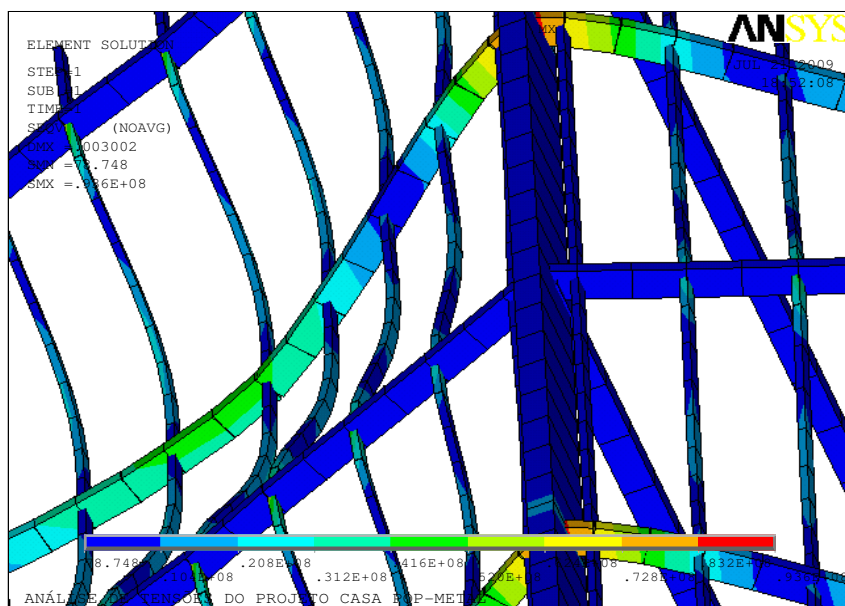


Figura V.6 – Distribuição da tensão equivalente de von Mises. Projeto POPMETAL.

As figuras V.7 e V.8 apresentam uma ampliação destacando a região onde ocorre a tensão equivalente de *von Mises* máxima na estrutura para as duas situações. A região de máximo ocorre na interseção da cumeeira com a terço e trata-se de uma região de dimensões relativamente pequenas, junto à última linha de ripamento do telhado.

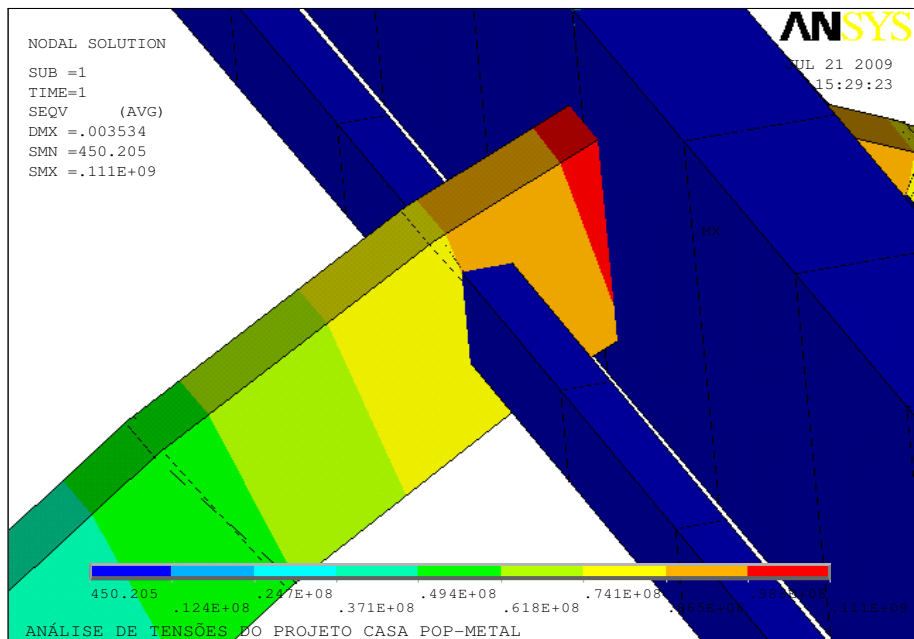


(a)

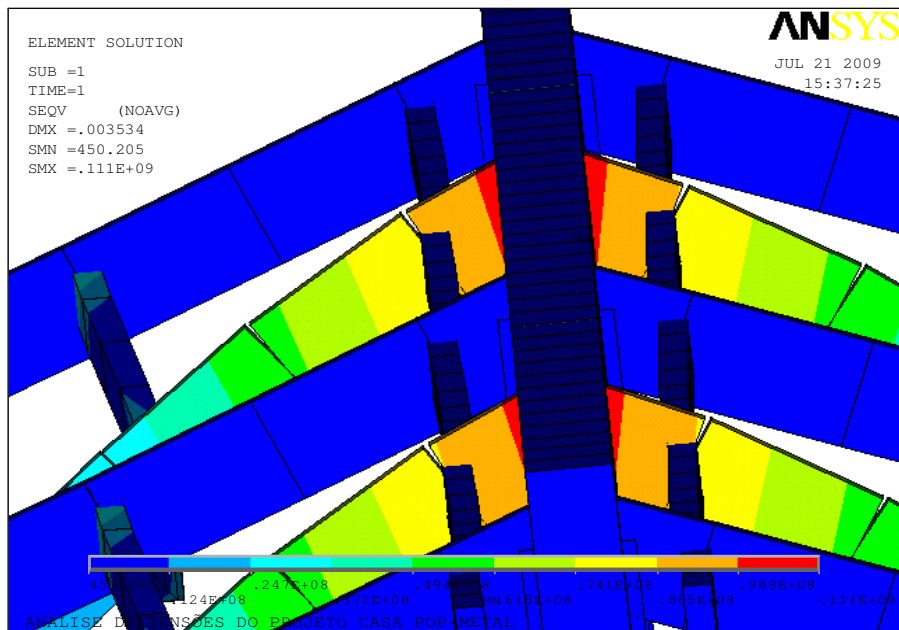


(b)

Figura V.7- Detalhes da distribuição da tensão equivalente de von Mises. Projeto USITETO.



(a)



(b)

Figura V.8- Detalhes da distribuição da tensão equivalente de von Mises. Projeto POPMETAL.

A proposta foi focada única e exclusivamente na avaliação da redução da espessura dos perfis do conjunto estrutural, reproduzindo assim o comportamento da estrutura como um conjunto, seja no projeto USITETO ou POPMETAL. O projeto POPMETAL segue os mesmos

padrões, porém empregando uma estrutura metálica mais leve em função da menor espessura dos perfis.

Os valores obtidos na análise de tensões são inferiores ao valor do limite de escoamento dos materiais dos perfis apesar da redução da espessura de todos os perfis de 2,0 mm para 1,52 mm.

A verificação do projeto POPMETAL pela norma NBR 8800 com novas dimensões, mostra que a nova estrutura também atende à norma.

As tabelas V.1 e V.2 apresentam os valores máximos das tensões equivalentes de *von Mises* e dos deslocamentos para os dois projetos estudados.

Tabela V.1 - Valores máximos da tensão equivalente de von Mises.

	PROJETO USIMINAS		PROJETO POPMETAL	
	Vento Lateral	Vento Frontal	Vento Lateral	Vento Frontal
Tensão eq. de <i>von Mises</i> máx (MPa)	93,6	93,8	111	111

Tabela V.2 - Deslocamentos máximos obtidos

	PROJETO USIMINAS		PROJETO POPMETAL	
	Vento Lateral	Vento Frontal	Vento Lateral	Vento Frontal
Deslocamento máximo (mm)	3,002	2,999	3,534	3,531

Considerando um projeto ao escoamento para um material A -36, que possui um limite de escoamento (S_y) igual a 250MPa, observa-se um coeficiente de segurança de 2,67 para o projeto USIMINAS e um coeficiente de segurança de 2,25 para o projeto POPMETAL. Assim, a redução da espessura dos perfis de 2,0mm para 1,52mm, que representa uma redução no peso da estrutura metálica de 24%, resulta em uma redução no coeficiente de segurança de aproximadamente 16%.

Não deixando de considerar que os valores de cargas permanentes e cargas acidentais também sofreram acréscimos, ou seja, foram majorados em função dos cálculos conservativos e procedimentos determinados pelas normas NBR 8800 e NBR 6123, através da aplicação de coeficientes de segurança associados aos carregamentos.

O acréscimo de tensões máximas nos pontos críticos não foi superior a 20%. No caso da situação de vento aplicado na lateral, baseando-se integralmente na norma NBR 6123 em sua condição mais desfavorável possível, houve um acréscimo de 18,6%. Já para o caso do vento aplicado na superfície frontal da casa o acréscimo foi de 18,3%. É importante ressaltar que foi adotada a situação mais crítica para a carga de vento, considerando-se a maior área projetada possível para a pressão do vento, com a porta de acesso e as duas janelas totalmente fechadas. Os pontos críticos ocorrem nas peças pares, no ponto de contato com a cumeeira conforme mostra o detalhe da figura V.8.

Quanto aos deslocamentos máximos, visualizados na figura V.3, foram obtidos valores inferiores aos indicados pela norma. Em relação à situação de vento aplicado tanto na lateral como na superfície frontal da casa, o projeto POPMETAL apresenta um acréscimo de 17,7%. Em ambos os casos o deslocamento máximo é muito pequeno em relação a valores gerais adotados na construção civil.

Os resultados indicam que a proposta POPMETAL apresenta uma significativa redução de peso no todo estrutural proposto, implicando diretamente na redução dos custos financeiros da estrutura, sem comprometer a integridade estrutural, uma vez que, mantém um coeficiente de segurança relativamente elevado ($n = 2,25$). O tempo de execução, trabalhabilidade, transportes e fretes também são afetados de forma a contribuir para a redução de custos, pois estes estão vinculados ao peso da matéria prima a ser transportada e trabalhada.

Há de se ressaltar que todos os critérios apontados pelas normas a favor da segurança foram criteriosamente levantados e absorvidos na proposta POPMETAL, quanto às cargas aplicadas, esforços solicitantes e propriedades dos materiais.

É importante apontar que outros modos de falha que podem estar presentes, tais como propagação de trincas, fadiga, corrosão, não foram abordados neste estudo. Assim, para o novo projeto possa ser considerado como uma solução segura, análises complementares de outros modos de falha precisam antes ser abordados.

Outro ponto a considerar é o fato do modelo desenvolvido não considera efeitos de concentração de tensão associados às geometrias dos perfis usados. Os elementos de viga são elementos do tipo linha que não levam em conta as concentrações de tensão presentes em perfis com seções do tipo "C" ou "I". Dessa forma, uma análise mais refinada utilizando elementos mais sofisticados deve ser desenvolvida antes de colocar o projeto em prática. Por outro lado, o fato da estrutura metálica ser composta por um aço dúctil (A 36) reduz um pouco o impacto destes efeitos já que este material tem a capacidade de absorver, através de deformações plásticas localizadas, tensões superiores ao limite de escoamento em regiões de concentração de tensão.

CONCLUSÃO

Apesar da construção civil no Brasil ser um importante setor da economia no país, responsável por uma parcela considerável do PIB, a falta de moradias adequadas para a população de baixa renda é um problema que assola o país. A cidade do Rio de Janeiro é um bom exemplo desta situação, uma vez que o problema habitacional está claramente destacado pela presença das favelas que se misturam com construções de luxo em diversas regiões da cidade. Neste contexto a utilização de novas tecnologias que permitam a redução dos custos envolvidos na construção de casas populares são fatores de alta relevância.

O desenvolvimento de novas tecnologias construtivas na área da construção civil nos últimos anos tem permitido avanços importantes. Além dos novos materiais e técnicas de construção, o projeto estrutural passou a ter o suporte de ferramentas computacionais que permitem desenvolver, antes da construção física da estrutura, simulações numéricas com modelos cada vez sofisticados e mais próximos do caso real. Através destes modelos é possível obter previsões mais precisas e, dessa forma, reduzir determinados coeficientes de segurança de projeto que muitas vezes podem tornar a estrutura excessivamente conservativa. Assim, em diversas situações, através da aplicação de ferramentas computacionais durante a etapa do projeto de uma estrutura, é possível reduzir os coeficientes de segurança do projeto e, com isso, reduzir o custo total da estrutura reduzindo a quantidade de material usado na construção.

As casas populares com estrutura metálica são uma opção que oferece diversas vantagens em relação sobre os outros tipos de construções, como:

- Elevada velocidade de montagem, com a estrutura do telhado incluída.
- Montagem precisa do conjunto, medidas contínuas ao longo de toda a construção.
- Boa organização do canteiro, maior agilidade, limpeza e menor quantidade de resíduos.
- Padronização dos trabalhos de acabamento, gerando maior facilidade para melhoria de índices de produtividade em todas as fases da obra e do complexo construtivo.
- Aceitação de outras tecnologias acopladas sem prejuízo da qualidade, e gerando redução dos custos diretos e indiretos, inclusive alívio das fundações.
- Menor interferência direta do clima. Após montada a estrutura entra a cobertura proporcionando regularidade das atividades mesmo em dias chuvosos.
- Confiabilidade do processo e segurança. Controle de qualidade do aço testado e aferido em laboratórios de usinas siderúrgicas consagradas no mercado.
- Facilidade de adequação ao crescimento da família, possibilitando aumento do módulo principal sem grandes intervenções no embrião da casa.

Entre as desvantagens está a questão da necessidade de uma mão de obra com uma qualificação superior à necessária para outros tipos de casas populares como as de alvenarias. A montagem da estrutura metálica exige, por exemplo, soldadores qualificados. No entanto, a demanda por este tipo de profissional no país pode ser suprida através da criação de programas governamentais similares ao Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás Natural (PROMINP), que oferece cursos gratuitos de capacitação em diversas áreas voltadas para a área de Petróleo e Gás Natural.

Neste trabalho foi proposta uma metodologia utilizando modelos numéricos baseados no método de elementos finitos para avaliar o comportamento estrutural, em termos de tensões e deslocamentos, de casas populares com estrutura metálica utilizando modelos numéricos baseados no método de elementos finitos. As análises apresentadas no trabalho foram feitas a partir da configuração geométrica de uma casa popular com estrutura metálica existente e desenvolvida pela Usiminas, denominada USITETO. Além da configuração original, uma segunda configuração proposta, denominada POPMETAL, foi analisada através de modelos numéricos, desenvolvidos utilizando o pacote comercial de elementos finitos ANSYS. A configuração POPMETAL apresenta uma configuração geométrica idêntica à da USITETO, sendo as únicas diferenças a utilização de perfis metálicos com menor espessura e a adoção de um perfil único para todas as colunas, resultando em uma redução de peso da estrutura metálica de 24%. As simulações numéricas desenvolvidas mostraram que esta redução de peso não afetou significativamente o desempenho estrutural da estrutura metálica: as tensões equivalentes de *von Mises* máximas os deslocamento máximos aumentaram em aproximadamente 18%, ficando ambos compatíveis com as condições exigidas pelas normas pertinentes. O coeficiente de segurança ao escoamento apresentou uma redução de 16%.

Os resultados indicam que projeto original USITETO possui espaço para reduções de espessura de perfil sem prejuízo da estabilidade do conjunto. Em função da natureza dos projetos de casas populares que envolvem a construção de um grande número de unidades, ações com a redução do peso da estrutura metálica ou a utilização de um número menor de tipos de perfis metálicos propostas no projeto POPMETAL, podem resultar em uma economia de recursos financeiros considerável. Além disso, a redução do número de tipos de perfis metálicos permite simplificar as operações de montagem e facilitar a aquisição e o controle de estoque de material.

É importante destacar que a metodologia de análise apresentada foca a questão de análise do projeto quanto ao escoamento da estrutura metálica e aos deslocamentos máximos, não abordando outros modos de falha que podem estar presentes, tais como propagação de trincas, fadiga, corrosão. Assim, para o novo projeto possa ser considerado como uma solução segura, análises complementares de outros modos de falha precisam antes ser abordados.

Outro ponto a considerar é o fato do modelo desenvolvido não considerar efeitos de concentração de tensão associados às geometrias dos perfis usados. Os elementos de viga são elementos do tipo linha que não levam em conta as concentrações de tensão presentes em perfis com seções do tipo “C” ou “I”. Dessa forma, uma análise mais refinada utilizando elementos mais sofisticados deve ser desenvolvida antes de colocar o projeto em prática. Por outro lado, o fato da estrutura metálica ser composta por um aço dúctil (A 36) reduz um pouco o impacto destes efeitos já que este material tem a capacidade de absorver parcialmente, através de deformações plásticas localizadas, tensões superiores ao limite de escoamento em regiões de concentração de tensão.

Dessa forma, sugere-se que em trabalhos futuros os pontos levantados acima sejam abordados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT; “NBR 8800:2008 (NBR 14) - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios”, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.
- ARAÚJO, J. M. Curso de Concreto Armado, Vol. 4, 2ª edição, Editora Dunas, Rio Grande, 2003.
- BASTOS, SIMONE DE SÁ. Modelo Conceitual de Nível Tecnológico para Apropriação Sustentável de Inovação: Caso da Indústria de Cerâmica Vermelha. Tese de Mestrado do Programa de Mestrado em Tecnologia do CEFET/RJ, Rio de Janeiro. Julho /2004.
- BELLEI, I. Edifícios Industriais em Aço, 2.ª edição, Editora Pini, São Paulo, 1998.
- BOLAFFI, G. Habitação e urbanismo: o problema e o falso problema. Rio de Janeiro: Ensaios de Opinião, 1975
- BROCHADO, MARINA RODRIGUES. “Projeto de Cerâmica Vermelha”; CEFET-RJ. Rio de Janeiro, 1999.
- CBCA – Centro Brasileiro de Construção em aço, *Galpão para usos gerais*, Vol. 1, 2003.
- CLAVAL, P. Logique des villes. Paris, Litec, 1983. CLAVALL, P. Logique des villes. Paris, Litec, 1983.
- CÓDIGO DE OBRAS DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO, 7ª ED. Gráfica Auriverde 1993, Primeiro e Segundo Volume
- CURTY, L. A. E DANTAS, D. F. E SILVA, M. T., *Dimensionamento e Avaliação Custo Benefício de Moradias Convencional e Não-Convencional*, 2005.
- CYNAMON, SIMONE MONTEIRO E CARVALHO, ANTÔNIO IVO DE TEÓFILO. Diagnóstico do Déficit habitacional no Brasil – 2000. REDE BRASILEIRA DE HABITAÇÃO PARA A SAÚDE. I Seminário Internacional de Engenharia de Saúde Pública. Oficina de Trabalho: Moradia e Saúde. ENSP-FIOCRUZ. Recife. 2002.
- D’ COSTA, MICHAEL J; BARTELETT, F. MICHAEL; “ Full-scale testing of corrugated fibreboard shelter subjeti to static-equivalent Wind loads “. *Journal of Wind engineering and industrial aerodynamics*, V91, N.2-15 PP. 1671-1688, DEZ 2003.
- DUBINA, DAN; “Behavior and performance of cold-formed steel-framed houses under seismic action”, *Journal of constructional steel research*, V.64, n.7-8, PP. 896-913, JUL. AUG. 2008.
- FUGAZZOLA, L. A institucionalização da precariedade: estado e habitação popular no aglomerado urbano de Florianópolis. Scripta Nova. Revista eletrônica de geografia y ciencias sociales. Barcelona: Universidad de Barcelona, 1 de agosto de 2005, vol.IX, núm. 194 (49) <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-194-49.htm> >[ISSN:1138-9788].
- GONÇALVES, ROBSON R.. Texto para Discussão Nº 559 - Déficit Habitacional Brasileiro:Um Mapeamento por Unidades da Federação e por Níveis de Renda Domiciliar, Rio de Janeiro,

- DIRETORIA DE PESQUISA DO IPEA, Um mapeamento do déficit habitacional brasileiro: 1981-95. Estudos Econômicos da Construção, v. 2, n. 3, p. 29-51, 1997 a 1998. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- GOTTDIENER, M. A Produção Social do Espaço Urbano. São Paulo, USP, 1993
- Indústria da Construção Civil em Debate; Portal CONPET- Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo o do Gás Natural; Disponível em http://www.conpet.gov.br/noticias/noticia.php?segmento=&id_noticia=953#, Acesso em 10 julho de 2008.
- LANG, WILSON et al. “Casa Própria - Moradia digna, cidadania plena”. Revista do CONFEA – Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia. Ano VII, - Nº 15, Brasília, p.24 a 26. 2003.
- LEFEBVRE, H. La producion de l'espace, Paris, Anthropos, 1974
- MANUAIS DA CONSTRUÇÃO EM AÇO – CBCA-Companhia Brasileira da Construção em Aço - 2007.
- MARINGONI, H. M. Princípios de Arquitetura em Aço. 2ª Edição, VOL 4, 2004.
- MOLITERNO, Antonio; Elementos para Projetos em Perfis Leves de Aço, Editora Blucher – 1989.
- NASH, WILLIAM ARTUR, Resistência dos Materiais, 2ª Edição, São Paulo McGraw-Hill – do Brasil, 1982.
- NBR 13532/95 - Elaboração de projetos de edificações - Arquitetura; ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas; Rio de Janeiro, Brasil.
- NBR 6123 - Forças devidas ao vento em edificações, Associação Brasileira de Normas Técnicas; Rio de Janeiro, Brasil.
- NBR 8950 – Indústria da Construção Civil; Associação Brasileira de Normas Técnicas; Rio de Janeiro, Brasil.
- PACHECO, PEDRO MANUEL C.L., Apostila de INTRODUÇÃO AO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS COM A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ANSYS, 2007.
- PFEIL, WALTER. Estruturas de aço: Dimensionamento Prático, 7ª edição- Editora LTC. Vol: 1,2,3. Rio de Janeiro, 2000.
- PINHEIRO, A. C. *Estruturas Metálicas*, 1.ª Edição, Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2001.
- PINHEIRO, A.C.F.B.; *Estruturas Metálicas – Cálculos, detalhes, exercícios, e projetos*, 2ª Edição, Editora Blucher – 2005.
- POLILLO, ADOLPHO, Dimensionamento de Concreto Armado, 1ª Ed. Rio de janeiro – Editora Científica, Volumes: 1, 2, 3, 4, 1979.
- SAYEGH, S., *Moradia popular em Kit metálico*. Revista Téche, nº 54, 2001.

- REN, WEI-XIN; FANG, SHENG-EM; YOUNG, BEM; “Analysis and design of cold-formed steel channels subjected to combined bending and webcrippling “, *Thin-walled-structures*, V.44, n.3, PP.314-320, MAR. 2006.
- SALLEM, M.A. E ASHRAF, M., 2008, “ Low Cost Earthquake Resistant Ferrocement Small House”, *Pak. J. Engg. & Appl. Sci.*, Vol. 2, PP. 59-64.
- SEGERLIND, L. J.; *Applied Finite Element Analysis*, 2^a Edition, John Wiley & Sons Inc, New York, 1984.
- SILVA, M. G. E SILVA, V. G, *Manual de Construção em Aço- Painéis de Vedação*.
- SIVAKUMARAN, K. S., ABDEL-RAHMAN, NABIL; “ A finite element analysis model for the behavior of cold-formed steel members”, *Thin- Walled structures*, V.31, n.4, PP. 305-324, AUG. 1998.
- SORIANO, HUMBERTO LIMA. *Estática das Estruturas*. Rio de Janeiro. Editora Ciência Moderna Ltda, 2007.
- SÜSSEKIND, J. C., *Curso de Análise de Estruturas*, VOLUME: 1, 2, 3 – EDITORA GLOBO S.A. 1973.
- TCPO – *Tabela de Composições de Preços para Orçamentos*, 12^a edição, Editora Pini, São Paulo, 2003.
- VELLOSO, A. E LOPES, R. F, *Fundações. Critérios de Projeto*, Vol. 1, Editora Oficina de Textos, São Paulo, 2004.
- ZHOU, FENG; YOUNG, BEM; “Experimental and numerical investigations of cold-formed stainless steel tubular sections subjected to concentrated bearing load”, *Journal of constructional steel research*; V.63, n.11, PP. 1452-1466, NOV. 2007.

SÍTES DE INTERNET

www.piniweb.com.br

www.acominas.com.br

www.belgo.com.br

www.cbca-ibs.org.br

www.cosipa.com.br

www.csn.com.br

www.cst.com.br

www.gerdau.com.br

www.usiminas.com.br

www.metálica.com.br

ANEXOS

ANEXO A: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS USITETO

ANEXO B: PROGRAMAÇÕES EM FORMATO APDL

ANEXO A

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS REFERENTES AO PROJETO E FORNECIMENTO DE ESTRUTURAS METÁLICAS.

GENERALIDADES

Objetivo

A presente especificação tem por objetivo prescrever as condições e exigências mínimas que devem ser obedecidas no desenvolvimento dos serviços de fabricação, pintura e montagem de estruturas metálicas para unidades habitacionais do Sistema Usiteto.

Normas

Devem ser obedecidas todas as normas da ABNT, pertinentes ao assunto, mas, principalmente, as seguintes, em suas edições mais recentes:

NBR 8800 – Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios – Métodos dos estados limites.

NBR 6120 - Cargas para cálculo de estruturas de edifícios.

NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações.

NB 143 – Cálculo de estruturas de aço constituídas por perfis leves.

Devem ser atendidas também as seguintes normas e especificações:

AISC – Specification for the Design, Fabrication and Erection of Structural Steel for Buildings.

AWD1-1 – Structural Welding Code

ASTM – American Society for Testing and Materials.

Materiais	
Aço estrutural	SAC 300
Aço estrutural para chumbadores e tirantes de terças e travessas, inclusive as respectivas porcas	SAE 1020
Aço para parafusos	ASTM A 307
Aço para parafusos de alta resistência	ASTM A 325
Eletrodos para solda	AWS A 5,1 ou AWS A 5,5 (E-70XX)
Arame e fluxo para solda automática	AWS A 5,17 (F7X-EXXXX)

Tabela – Tabela de materiais e suas respectivas normas (Fonte:)

FABRICAÇÃO

Materiais

Todos os materiais a serem utilizados na fabricação deverão conter certificados de testes de qualidade emitidos na sua origem ou relatórios de ensaios executados pela CONTRATADA.

Perfis

Os laminados a serem utilizados na fabricação deverão atender às tolerâncias dimensionais definidas nas especificações ASTM-A-36.

Os perfis de chapa fina conformados a frio, adquiridos de fornecedores idôneos ou executados pela própria CONTRATADA, deverão ter os comprimentos previstos nos desenhos de fabricação, a fim de que sejam eliminadas soldas intermediárias. Tais perfis deverão ainda seguir as seguintes observações:

Tolerância no comprimento

Até 1 metro – 1mm

Para cada metro seguinte – 0,5mm

Empeno nas peças

0,25% do comprimento total

Os perfis não poderão apresentar fissuras nas dobras.

Os cortes das chapas de composição dos perfis executados a oxigênio deverão preferencialmente ser realizados através de máquinas, sendo as arestas livres de rebarbas e outras imperfeições.

O aplainamento ou acabamento de arestas de chapas ou perfis cortados em tesoura ou gás não é necessário, exceto quando especificamente indicado nos desenhos de fabricação ou quando estiverem incluídos em uma determinada preparação para soldagem.

Ligações Parafusadas

O aço para os parafusos, porcas e arruelas de alta resistência deverá seguir a especificação ASTM-A-325. Os demais parafusos e porcas deverão seguir a especificação ASTM-A-307 e, neste caso, as arruelas serão de aço baixo carbono (comercial).

Os parafusos terão a cabeça e a porca hexagonais de dimensões conforme a ANSI-B18,2 1-1972 e B-18,2 2 - 1972, respectivamente, aqueles com cabeça escariada terão dimensões segundo a ANSI-B-18-5 – 1971.

As arruelas deverão ser circulares, planas e lisas. As arruelas a serem utilizadas em ligações com parafusos de alta resistência deverão ter dimensões conforme indicado na página 5-210 do AISC/ Eighth Edition. As demais arruelas, quando circulares planas e lisas, deverão ter dimensões conforme a ANSI B-27,2 e quando chanfradas segundo a ANSI-B-27-4.

Todas as roscas deverão ser da Série Unificada Grossa (UNC), como especificado na Norma Americana para Rosca Unificada (ANSI B 1,1 – 1974), devendo ter a tolerância da classe 2 A para os parafusos e classe 2B para as porcas.

Os parafusos e respectivas porcas deverão ser estocados limpos de sujeira e ferrugem, principalmente nas roscas, sendo indispensável guardá-los levemente oleados.

Os furos para parafusos terão normalmente 1,5mm a mais que o diâmetro nominal do conector.

Se a espessura do material não for maior que o diâmetro nominal do parafuso acrescida de 3mm, os furos poderão ser puncionados. Nos casos em que a espessura do material for maior que o diâmetro nominal do parafuso acrescida de 3mm, os furos deverão ser obtidos em furadeira ou então puncionados e posteriormente alargados.

As rebarbas externas de orifícios furados e alargados deverão ser removidas.

Ligações Soldadas

Todas as soldas deverão obedecer às especificações “Welding in Building Construction” AWS-D-1.1 da “American Welding Society”. A dimensão mínima para solda de filete será de 3mm, a menos que a solda não seja estrutural. A dimensão máxima do filete será igual à espessura da chapa mais fina que estiver sendo soldada, desde que o filete não ultrapasse 14mm, quando deverá ser usada solda de penetração.

As superfícies preparadas para soldagem deverão estar livres de rebarba, graxas, tintas e outros resíduos. No caso do chanfro das chapas ter sido executado por maçarico, as bordas deverão ser esmerilhadas.

Os eletrodos para solda manual deverão ser tipo AWS-5.1 ou A-5.5, E-70XX e para solda automática de arco submerso deverá ser seguida a especificação AWS A 5.17, E 7X-EXXXX.

Todos os materiais a serem utilizados nos processos de soldagem deverão ser armazenados em locais limpos e secos, não devendo ser utilizados eletrodos úmidos, danificados ou sujos, nem arames enferrujados.

A soldagem sempre que possível, deverá ser feita em posição plana, usando-se para isso de dispositivos adequados.

As soldas deverão ser executadas em uma sequência adequada para cada tipo de peça, de forma a minimizar os efeitos causados por tensões residuais e empenos.

As soldas automáticas deverão ser executadas através de operação contínua, sem paradas ou partidas intermediárias.

Os pontos de solda poderão integrar-se á solda, desde que convenientemente limpos.

As soldas que apresentarem defeitos tais como trincas, inclusão de escória, porosidade, mordeduras, penetração incompleta, etc., deverão ser removidas por meio de esmerilhamento ou goivagem e convenientemente refeitas.

Marcação

Todos os elementos estruturais deverão receber no seu lado esquerdo “marcas de montagem”, anotadas a tinta (com altura mínima de 38mm) ou puncionados, de forma a permitir sua fácil e segura identificação no campo quando dos trabalhos de montagem.

Inspeção

A mão-de-obra e os materiais cobertos por esta especificação estarão sujeitos á inspeção por parte da CONTRATANTE e/ou seus representantes credenciados, que terão livre

acesso, durante a jornada normal de trabalho, a todas as instalações da CONTRATADA onde estiverem sendo fabricadas as estruturas.

A CONTRATADA deverá proporcionar aos inspetores as facilidades e equipamentos necessários à realização de inspeção e dos testes requeridos.

O exercício do direito de inspeção pela CONTRATANTE e/ou seus representantes credenciados, não exime a CONTRATADA de qualquer ônus decorrente da infração de algum item das normas e especificações relacionadas ou de fidelidade ao representado nos desenhos de fabricação.

Quando necessário, a pré-montagem de partes das estruturas metálicas deverá ser realizada, antes de se iniciarem os trabalhos de pintura, na presença da inspeção da CONTRATANTE.

Os serviços de inspeção deverão seguir basicamente ao seguinte roteiro, o qual poderá sofrer modificações ou acréscimos quando da contratação dos serviços.

Inspeção visual das estruturas metálicas

Controle dimensional de acordo com os desenhos de fabricação e tolerâncias admissíveis.

Controle da matéria prima através de certificados de teste de qualidade emitidos na sua origem ou de relatórios de ensaios executados pela CONTRATADA.

Inspeção visual das soldas estruturais.

MONTAGEM

Considerações Gerais

Qualquer item que acaso tenha sido omitido nesta especificação não autoriza a CONTRATADA a fazer serviços defeituosos ou de má qualidade.

Sempre que houver discordância destas especificações com desenhos de referência e especificações gerais, prevalecerá o disposto no projeto.

Embora devam ser sempre rigorosamente obedecidos os desenhos e demais elementos do projeto, as normas acima citadas e as presentes especificações, a CONTRATADA poderá, caso julgue necessário, sugerir alternativas ou modificações.

Entretanto, estas alternativas e modificações só poderão ser executados depois de expressamente aprovadas, por escrito, pela CONTRATANTE.

Caso a CONTRATADA constate erros em qualquer um dos elementos do projeto, deverá comunicar ao representante da CONTRATANTE para devida correção.

Fiscalização

A CONTRATADA deverá permitir o livre acesso da FISCALIZAÇÃO, a qualquer lugar da obra durante o período de tempo em que durar o serviço.

Responsabilidades do Montador

Constituem responsabilidades da CONTRATADA, exceto quando explicitamente mencionadas em contrário nestas especificações:

Montagem completa das estruturas metálicas como indicado nos desenhos. Para a montagem, a CONTRATADA deverá fornecer os desenhos completos das estruturas com todas as dimensões, cotas e detalhes.

A armazenagem de parafusos, porcas, arruelas ou outras peças pequenas, deverá sempre ser feita em local coberto.

Os parafusos, porcas e arruelas deverão ser estocados limpos de sujeira e ferrugem, principalmente nas roscas, sendo indispensável guardá-los levemente oleados.

As peças grandes, tais como chapas perfis, etc., podem ser armazenados ao tempo, devendo, entretanto, serem tomados os devidos cuidados para evitar empenos devidos à posição inadequada ou a escoramento insuficiente, bem como para evitar que tais peças fiquem mergulhadas na lama ou cobertas por vegetação. As peças deverão ser estocadas em locais que possua drenagem de águas pluviais evitando-se com isso o acúmulo de água sobre ou sob as mesmas.

EXECUÇÃO

Ligações Parafusadas

Os furos para parafusos terão normalmente 1,5mm a mais que o diâmetro nominal dos mesmos.

Os parafusos definitivos deverão ser colocados livremente nos furos sem o uso de martelos, marretas ou outros dispositivos.

Quando necessário, os furos poderão ser alargados através do uso de alargadores ou maçarico, até que resulte uma ovalização máxima de 5mm do furo.

As rebarbas externas de orifícios furados e alargados deverão ser removidas.

É proibido o uso de parafusos de menor diâmetro ainda que de material de maior resistência, com ou sem arruelas.

Os deslocamentos e empenos de peças não deverão nunca ser corrigidos tracionando-se os parafusos.

Montagem das Colunas

Todas as colunas metálicas deverão ser posicionadas sobre as bases de concreto exatamente de acordo com os eixos e níveis indicados nos desenhos.

Os eixos das colunas deverão ser definidos em cada bloco de fundação por meio de 4 pontos topográficos. A tolerância para a locação destes pontos é de ± 2 mm.

A distância entre os centros de duas bases de colunas, definidos pelos 4 pontos topográficos poderá ter uma variação de ± 5 mm. Esta variação, para uma mesma fila de colunas, não é cumulativa, sendo admissível uma variação de ± 10 mm na distância entre os centros das colunas extremas.

Entre o nível das faces dos calços em dois blocos adjacentes poderá haver uma variação de ± 5 mm, porém esta tolerância não é cumulativa, não devendo a diferença entre nível do bloco mais elevado e o do mais baixo ser maior que 10mm.

As colunas serão consideradas no prumo quando a inclinação dos eixos geométricos das mesmas não exceder a 1/500.

Quando no projeto for especificado o enchimento das caixas dos chumbadores com concreto, este serviço deverá ser feito somente após o aperto de todos os parafusos nas ligações das colunas com vigas e contraventos e a verificação do alinhamento, nivelamento e prumo da estrutura.

Montagem das vigas

As vigas, após sua montagem, deverão ser alinhadas e niveladas.

Serão consideradas alinhadas quando o desalinhamento existente for devido somente às tolerâncias admissíveis no alinhamento das colunas.

Serão consideradas niveladas quando a cota no topo das vigas medidas nas superfícies de apoio, apresentar uma variação de ± 5 mm em relação ao valor especificado no projeto.

Após a colocação de todos os parafusos definitivos deverá ser dado um torque menor de 90% do torque final de todos os parafusos efetuando-se após, o aperto final.

A seqüência de colocação e aperto dos parafusos definitivos deverá ser sempre do meio para a extremidade das juntas.

No caso de vigas soldadas, as peças são primeiramente ponteadas na posição definida em projeto e, após a verificação em relação às tolerâncias admissíveis, é feita a soldagem definitiva.

Procedimentos de Montagem

Durante a montagem, os elementos provisórios, necessários para manter a posição das peças estruturais antes de sua fixação, deverão ser suficientes para resistir aos carregamentos devidos ao peso próprio da estrutura, peso de materiais eventualmente armazenados, esforços de montagem e ação do vento.

Os elementos e escoramentos provisórios deverão ser retirados após a montagem, assim como as ligações provisórias.

GARANTIAS

A CONTRATADA deverá garantir os trabalhos executados contra materiais defeituosos, falhas de mão-de-obra e métodos de execução dos serviços.

ESPECIFICAÇÃO DA PINTURA

GENERALIDADES

Os serviços de pintura executados pelo FORNECEDOR serão de sua inteira responsabilidade.

O fornecedor deverá certificar-se quanto à compatibilidade da tinta de fundo e de acabamento.

PREPARAÇÃO DAS SUPERFÍCIES

Qualquer superfície a ser pintada deverá ser completamente limpa de toda sujeira, pó, graxa, óleo ou qualquer outra substância prejudicial, antes da aplicação da tinta.

Deverão ser utilizados produtos e sistemas de limpeza não prejudiciais à superfície ou ao sistema de pintura. Deverão ser tomadas todas as precauções de segurança quando do manuseio dos produtos ou equipamentos para limpeza. As superfícies deverão estar secas a não ser quando a umidade for necessária a um tipo particular de pintura.

Qualquer superfície que sofra algum processo de contaminação no decorrer do trabalho deverá ser limpa novamente, antes de se dar continuidade ao processo de pintura.

Pinturas anteriores deverão ser completamente removidas. Salvo se forem do mesmo esquema de pintura que será executado e estejam em perfeitas condições de aderência.

As frestas das faces dos perfis “U” que ficam para o lado externo do prédio, totalmente expostas, deverão após a limpeza superficial e antes de receber a pintura, serem calafetadas

com silicone ou massa plástica, para garantir a estanqueidade, evitando deste modo possíveis infiltrações.

PREPARAÇÃO DAS SUPERFÍCIES DE AÇO

Todas as superfícies de aço a serem pintadas deverão ser totalmente limpas, com remoção de ferrugem, sujeira, pó, graxa e qualquer outra substância prejudicial que possa interferir com o processo de adesão da tinta.

Deverão ser tomadas precauções especiais na limpeza dos cordões de solda, devido à elevada porosidade. Todos os resíduos e escória fundente deverão ser removidos e efetuada uma limpeza cautelosa. As superfícies deverão apresentar-se secas conforme a necessidade para aplicação da tinta de base (primer) ou demais demãos.

A preparação das superfícies deverá ser de acordo com as normas SSPC.

APLICAÇÃO DA PINTURA

Aplicação a Pistola

A aplicação a pistola deverá ser executada como abaixo discriminado:

O equipamento deverá ser adequado, com reguladores de pressão e manômetros apropriados. O mecanismo atomizador, as pistolas e agulhas deverão ser os recomendados pelo fabricante do Equipamento para material a ser aplicado, de forma que não seja necessária a excessiva diluição da tinta por solventes. O equipamento deverá ser mantido em condições satisfatórias de operação a fim de permitir a aplicação correta de tinta.

Filtro ou separadores devem ser previstos a fim de se remover óleo ou água condensada do ar. Esses filtros ou separadores devem ser de tamanhos apropriados e devem ser drenados periodicamente, durante as operações de pintura. O jato de ar da pistola que incide na superfície deverá ser isento de água condensada no óleo. Os ingredientes da tinta deverão ser mantidos adequadamente misturados, tanto nos tanques como nos recipientes durante a aplicação da pintura, por agitação mecânica contínua ou intermitente, com a necessária frequência.

Os equipamentos de pintura deverão ser suficientemente limpos após o uso, de maneira que poeira, tinta seca e outros materiais estranhos não venham a impregnar posteriormente a tinta. Quaisquer solventes deixados nos equipamentos deverão ser completamente removidos antes da pintura.

ANEXO B

Seguem abaixo as programações da ferramenta computacional em formato APDL:

TXT POPMETAL VENTO DE FRENTE

ESPESSURA (e) = 1,52

FINISH

/CLEAR,START

/TITLE, ANÁLISE DE TENSÕES DO PROJETO CASA POP-METAL

!DEFINIÇÃO DE GEOMETRIA GEOMETRIA EM METROS

e=2.0e-3

fator=1

grav=9.81

/PREP7

!definição das dimensões

!MARCAÇÃO DAS COORDENADAS

X1=-3.5

Y1=0

Z1=3.0

X2=0

Y2=0

Z2=3.0

X3=3.5

Y3=0

Z3=3.0

X4=3.5

Y4=0

Z4=0

X5=0

Y5=0

Z5=0

X6=-3.5

Y6=0
Z6=0
X7=-3.5
Y7=2.844
Z7=3.0
X8=-1.75
Y8=y7
Z8=3.0
X9=0
Y9=y7
Z9=3.0
X10=1.75
Y10=y7
Z10=3.0
X11=3.5
Y11=y7
Z11=3.0
X12=3.97
Y12=4.04
Z12=0
X13=3.5
Y13=4.04
Z13=0
X14=1.75
Y14=4.04
Z14=0
X15=0
Y15=4.04
Z15=0
X16=-1.75
Y16=4.04
Z16=0
X17=-3.5
Y17=4.04
Z17=0
X18=-3.97
Y18=4.04

Z18=0

X101=-3.97

Y101=2.66

Z101=3.47

X102=-3.97

Y102=2.78

Z102=3.16

X103=-3.97

Y103=2.90

Z103=2.86

X104=-3.97

Y104=3.03

Z104=2.55

X105=-3.97

Y105=3.15

Z105=2.24

X106=-3.97

Y106=3.27

Z106=1.98

X107=-3.97

Y107=3.39

Z107=1.68

X108=-3.97

Y108=3.51

Z108=1.32

X109=-3.97

Y109=3.64

Z109=1.02

X110=-3.97

Y110=3.76

Z110=0.71

X111=-3.97

Y111=3.88

Z111=0.40

X112=-3.97

Y112=4.00

Z112=0.10
X201=-3.50
Y201=2.66
Z201=3.47
X202=-3.50
Y202=2.78
Z202=3.16
X203=-3.50
Y203=2.90
Z203=2.86
X204=-3.50
Y204=3.03
Z204=2.55
X205=-3.50
Y205=3.15
Z205=2.24
X206=-3.50
Y206=3.27
Z206=1.98
X207=-3.50
Y207=3.39
Z207=1.68
X208=-3.50
Y208=3.51
Z208=1.32
X209=-3.50
Y209=3.64
Z209=1.02
X210=-3.50
Y210=3.76
Z210=0.71
X211=-3.50
Y211=3.88
Z211=0.40
X212=-3.50
Y212=4.00
Z212=0.10

X301=-1.75
Y301=2.66
Z301=3.47
X302=-1.75
Y302=2.78
Z302=3.16
X303=-1.75
Y303=2.90
Z303=2.86
X304=-1.75
Y304=3.03
Z304=2.55
X305=-1.75
Y305=3.15
Z305=2.24
X306=-1.75
Y306=3.27
Z306=1.98
X307=-1.75
Y307=3.39
Z307=1.68
X308=-1.75
Y308=3.51
Z308=1.32
X309=-1.75
Y309=3.64
Z309=1.02
X310=-1.75
Y310=3.76
Z310=0.71
X311=-1.75
Y311=3.88
Z311=0.40
X312=-1.75
Y312=4.00
Z312=0.10

X401=0
Y401=2.66
Z401=3.47
X402=0
Y402=2.78
Z402=3.16
X403=0
Y403=2.90
Z403=2.86
X404=0
Y404=3.03
Z404=2.55
X405=0
Y405=3.15
Z405=2.24
X406=0
Y406=3.27
Z406=1.98
X407=0
Y407=3.39
Z407=1.68
X408=0
Y408=3.51
Z408=1.32
X409=0
Y409=3.64
Z409=1.02
X410=0
Y410=3.76
Z410=0.71
X411=0
Y411=3.88
Z411=0.40
X412=0
Y412=4.00
Z412=0.10

X501=1.75
Y501=2.66
Z501=3.47
X502=1.75
Y502=2.78
Z502=3.16
X503=1.75
Y503=2.90
Z503=2.86
X504=1.75
Y504=3.03
Z504=2.55
X505=1.75
Y505=3.15
Z505=2.24
X506=1.75
Y506=3.27
Z506=1.98
X507=1.75
Y507=3.39
Z507=1.68
X508=1.75
Y508=3.51
Z508=1.32
X509=1.75
Y509=3.64
Z509=1.02
X510=1.75
Y510=3.76
Z510=0.71
X511=1.75
Y511=3.88
Z511=0.40
X512=1.75
Y512=4.00
Z512=0.10

X601=3.50
Y601=2.66
Z601=3.47
X602=3.50
Y602=2.78
Z602=3.16
X603=3.50
Y603=2.90
Z603=2.86
X604=3.50
Y604=3.03
Z604=2.55
X605=3.50
Y605=3.15
Z605=2.24
X606=3.50
Y606=3.27
Z606=1.98
X607=3.50
Y607=3.39
Z607=1.68
X608=3.50
Y608=3.51
Z608=1.32
X609=3.50
Y609=3.64
Z609=1.02
X610=3.50
Y610=3.76
Z610=0.71
X611=3.50
Y611=3.88
Z611=0.40
X612=3.50
Y612=4.00
Z612=0.10

X701=3.97
Y701=2.66
Z701=3.47
X702=3.97
Y702=2.78
Z702=3.16
X703=3.97
Y703=2.90
Z703=2.86
X704=3.97
Y704=3.03
Z704=2.55
X705=3.97
Y705=3.15
Z705=2.24
X706=3.97
Y706=3.27
Z706=1.98
X707=3.97
Y707=3.39
Z707=1.68
X708=3.97
Y708=3.51
Z708=1.32
X709=3.97
Y709=3.64
Z709=1.02
X710=3.97
Y710=3.76
Z710=0.71
X711=3.97
Y711=3.88
Z711=0.40
X712=3.97
Y712=4.00
Z712=0.10
X801=0.05

Y801=0

Z801=0

X802=0.85

Y802=0

Z802=0

X803=0.05

Y803=2.10

Z803=0

X804=0.85

Y804=2.10

Z804=0

X805=-0.05

Y805=0

Z805=0

X806=-0.85

Y806=0

Z806=0

X807=-0.85

Y807=2.10

Z807=0

X808=-0.05

Y808=2.10

Z808=0

!MARCAÇÃO DOS KEYPOINTS

! K,(NUMERO DO KEYPOINT),(COORDENADA EM X),(COORDENADA EM Y),(COORDENADA EM Z)

K,1,X1,Y1,Z1

K,2,X2,Y2,Z2

K,3,X3,Y3,Z3

K,4,X4,Y4,Z4

K,5,X5,Y5,Z5

K,6,X6,Y6,Z6

K,7,X7,Y7,Z7

K,8,X8,Y8,Z8

K,9,X9,Y9,Z9

K,10,X10,Y10,Z10

K,11,X11,Y11,Z11

K,12,X12,Y12,Z12
K,13,X13,Y13,Z13
K,14,X14,Y14,Z14
K,15,X15,Y15,Z15
K,16,X16,Y16,Z16
K,17,X17,Y17,Z17
K,18,X18,Y18,Z18
K,101,X101,Y101,Z101
K,102,X102,Y102,Z102
K,103,X103,Y103,Z103
K,104,X104,Y104,Z104
K,105,X105,Y105,Z105
K,106,X106,Y106,Z106
K,107,X107,Y107,Z107
K,108,X108,Y108,Z108
K,109,X109,Y109,Z109
K,110,X110,Y110,Z110
K,111,X111,Y111,Z111
K,112,X112,Y112,Z112
K,201,X201,Y201,Z201
K,202,X202,Y202,Z202
K,203,X203,Y203,Z203
K,204,X204,Y204,Z204
K,205,X205,Y205,Z205
K,206,X206,Y206,Z206
K,207,X207,Y207,Z207
K,208,X208,Y208,Z208
K,209,X209,Y209,Z209
K,210,X210,Y210,Z210
K,211,X211,Y211,Z211
K,212,X212,Y212,Z212
K,301,X301,Y301,Z301
K,302,X302,Y302,Z302
K,303,X303,Y303,Z303
K,304,X304,Y304,Z304
K,305,X305,Y305,Z305
K,306,X306,Y306,Z306

K,307,X307,Y307,Z307
K,308,X308,Y308,Z308
K,309,X309,Y309,Z309
K,310,X310,Y310,Z310
K,311,X311,Y311,Z311
K,312,X312,Y312,Z312
K,401,X401,Y401,Z401
K,402,X402,Y402,Z402
K,403,X403,Y403,Z403
K,404,X404,Y404,Z404
K,405,X405,Y405,Z405
K,406,X406,Y406,Z406
K,407,X407,Y407,Z407
K,408,X408,Y408,Z408
K,409,X409,Y409,Z409
K,410,X410,Y410,Z410
K,411,X411,Y411,Z411
K,412,X412,Y412,Z412
K,501,X501,Y501,Z501
K,502,X502,Y502,Z502
K,503,X503,Y503,Z503
K,504,X504,Y504,Z504
K,505,X505,Y505,Z505
K,506,X506,Y506,Z506
K,507,X507,Y507,Z507
K,508,X508,Y508,Z508
K,509,X509,Y509,Z509
K,510,X510,Y510,Z510
K,511,X511,Y511,Z511
K,512,X512,Y512,Z512
K,601,X601,Y601,Z601
K,602,X602,Y602,Z602
K,603,X603,Y603,Z603
K,604,X604,Y604,Z604
K,605,X605,Y605,Z605
K,606,X606,Y606,Z606
K,607,X607,Y607,Z607

K,608,X608,Y608,Z608
K,609,X609,Y609,Z609
K,610,X610,Y610,Z610
K,611,X611,Y611,Z611
K,612,X612,Y612,Z612
K,701,X701,Y701,Z701
K,702,X702,Y702,Z702
K,703,X703,Y703,Z703
K,704,X704,Y704,Z704
K,705,X705,Y705,Z705
K,706,X706,Y706,Z706
K,707,X707,Y707,Z707
K,708,X708,Y708,Z708
K,709,X709,Y709,Z709
K,710,X710,Y710,Z710
K,711,X711,Y711,Z711
K,712,X712,Y712,Z712
K,801,X801,Y801,Z801
K,802,X802,Y802,Z802
K,803,X803,Y803,Z803
K,804,X804,Y804,Z804
K,805,X805,Y805,Z805
K,806,X806,Y806,Z806
K,807,X807,Y807,Z807
K,808,X808,Y808,Z808
!CRIAÇÃO DA ÁREA
A,1,2,9,8,7
A,2,3,11,10,9
A,3,4,13,612,611,610,609,608,607,606,605,604,603,11
A,4,802,804,803,801,5,15,14,13
A,5,805,808,807,806,6,17,16,15
A,1,6,17,212,211,210,209,208,207,206,205,204,203,7
!A,1,2,5,6 ! (FUNDO DA CASA BASE LADO ESQUERDO)
!A,2,3,4,5 ! (FUNDO DA CASA BASE LADO DIREITO)
A,212,112,18,17
A,211,111,112,212
A,210,110,111,211

A,209,109,110,210
A,208,108,109,209
A,207,107,108,208
A,206,106,107,207
A,205,105,106,206
A,204,104,105,205
A,203,103,104,204
A,202,102,103,203,7
!A,202,102,103,203
A,201,101,102,202
A,312,212,17,16
A,311,211,212,312
A,310,210,211,311
A,309,209,210,310
A,308,208,209,309
A,307,207,208,308
A,306,206,207,307
A,305,205,206,306
A,304,204,205,305
A,303,203,204,304
A,8,7,203,303
A,302,202,7,8
A,301,201,202,302
A,412,312,16,15
A,411,311,312,412
A,410,310,311,411
A,409,309,310,410
A,408,308,309,409
A,407,307,308,408
A,406,306,307,407
A,405,305,306,406
A,404,304,305,405
A,403,303,304,404
A,9,8,303,403
A,402,302,8,9
A,401,301,302,402
A,512,412,15,14

A,511,411,412,512
A,510,410,411,511
A,509,409,410,510
A,508,408,409,509
A,507,407,408,508
A,506,406,407,507
A,505,405,406,506
A,504,404,405,505
A,503,403,404,504
A,10,9,403,503
A,502,402,9,10
A,501,401,402,502
A,612,512,14,13
A,611,511,512,612
A,610,510,511,611
A,609,509,510,610
A,608,508,509,609
A,607,507,508,608
A,606,506,507,607
A,605,505,506,606
A,604,504,505,605
A,603,503,504,604
A,11,10,503,603
A,602,502,10,11
A,601,501,502,602
A,712,612,13,12
A,711,611,612,712
A,710,610,611,711
A,709,609,610,710
A,708,608,609,709
A,707,607,608,708
A,706,606,607,707
A,705,605,606,706
A,704,604,605,705
A,703,603,604,704
A,702,602,11,603,703
A,701,601,602,702

A,2,9,403,404,405,406,407,408,409,410,411,412,15,5

ANTYPE,STATIC

!(DEFINE O TIPO DE ANÁLISE, ESTÁTICA)

!PROPRIEDADES DO MATERIAL

!MP,(MÓDULO DE ELASTICIDADE), (NÚMERO DO MATERIAL), (VALOR)

MP,EX,1,210e9 ! Aco

MP,PRXY,1,0.29

MP,DENS,1,7800

MP,EX,2,2.5e9 ! Alvenaria

MP,PRXY,2,0.25

MP,DENS,2,2000 ! Massa Específica da alvenaria (kg/m3)

MP,EX,3,(2.5e9) ! Telha

MP,PRXY,3,0.25

MP,DENS,3,2000 ! Massa Específica da telha (kg/m3)

!(DEFINIÇÃO DO TIPO DE ELEMENTO)

ET,1,BEAM4 ! (ELEMENTO DE VIGA)

ET,2,SHELL63 ! SHELL63(ELEMENTO DE PLACA)

A1=1.43e-4 !24RIPAS

lz1=5.50e-8

ly1=1.44e-8

dz1=25e-3

dy1=50e-3

R,1,A1,lz1,ly1,dz1,dy1

A2=3.38e-4 !5CAIBROS

ly2=54.1e-8

lz2=12.32e-8

dy2=50e-3

dz2=100e-3

R,2,A2,lz2,ly2,dz2,dy2

A3=4.53e-4 !2VIGAS

lz3=159.20e-8

ly3=23.35e-8

dz3=60e-3

dy3=150e-3

R,3,A3,lz3,ly3,dz3,dy3

A4=7.13e-4 !1CUMEEIRA

```

ly4=440.40e-8
lz4=53.20e-8
dy4=200e-3
dz4=75e-3
R,4,A4,lz4,ly4,dz4,dy4
A5=5.88e-4          !4PILARES DE CANTO
lz5=98.08e-8
ly5=178.18e-8
dz5=100e-3
dy5=50e-3
R,5,A5,lz5,ly5,dz5,dy5
A6=5.88e-4          !4 PILARES INTERMEDIÁRIOS
lz6=98.08e-8
ly6=178.18e-8
dz6=100e-3
dy6=50e-3
R,6,A6,lz6,ly6,dz6,dy6
A7=5.88e-4          !1PILAR CENTRAL
lz7=98.08e-8
ly7=178.18e-8
dz7=100e-3
dy7=50e-3
R,7,A7,lz7,ly7,dz7,dy7
t10=90e-3          ! ESPESSURA DA PAREDE DE
ALVENARIA
R,10,t10
t11=15e-3          ! ESPESSURA DA TELHA
R,11,t11
!(DEFINIÇÃO DO TAMANHO DO ELEMENTO)
!(CRIAÇÃO DA MALHA EM UMA VIGA)
ESIZE,e*100*fator
TYPE,1             ! Escolhe o elemento de viga
MAT,1             ! Escolhe o aco como material
REAL,7            ! Escolhe as propriedades geometricas 7
LMESH,28          ! coloca malha na linha 28 PILAR CENTRAL
REAL,6            ! Escolhe as propriedades geometricas 6
LMESH,11          ! coloca malha na linha 11 PILARES INTERMEDIÁRIOS

```

```

LMESH,2          ! coloca malha na linha 2 PILARES INTERMEDIÁRIOS
LMESH,36        ! coloca malha na linha 36 PILARES INTERMEDIÁRIOS
REAL,5          ! Escolhe as propriedades geometricas 5
LMESH,7         ! coloca malha na linha 7 PILARES DE CANTO
LMESH,5         ! coloca malha na linha 5 PILARES DE CANTO
REAL,4          ! Escolhe as propriedades geometricas 4 CUMEEIRA
LSEL,S,LOC,Y,4.04,4.04
LSEL,R,LOC,Z,0,0
LMESH,ALL
REAL,1          ! Escolhe as propriedades geometricas 1 24 RIPAS
LSEL,S,LOC,Z,0.10,0.10
LSEL,A,LOC,Z,0.40,0.40
LSEL,A,LOC,Z,0.71,0.71
LSEL,A,LOC,Z,1.02,1.02
LSEL,A,LOC,Z,1.32,1.32
LSEL,A,LOC,Z,1.68,1.68
LSEL,A,LOC,Z,1.98,1.98
LSEL,A,LOC,Z,2.24,2.24
LSEL,A,LOC,Z,2.55,2.55
LSEL,A,LOC,Z,2.86,2.86
LSEL,A,LOC,Z,3.16,3.16
LSEL,A,LOC,Z,3.47,3.47
LMESH,ALL
REAL,3          ! Escolhe as propriedades geometricas 3 2 VIGAS EXTERNAS
LSEL,S,LOC,Z,3.0,3.0
LSEL,R,LOC,X,-3.5*0.98,3.5*0.98
LSEL,R,LOC,Y,2.844,2.844
LMESH,ALL
REAL,2          ! Escolhe as propriedades geometricas 2 5 CAIBROS
LSEL,S,LOC,x,3.5,3.5
LSEL,A,LOC,x,1.75,1.75
LSEL,A,LOC,x,0,0
LSEL,A,LOC,x,-1.75,-1.75
LSEL,A,LOC,x,-3.5,-3.5
LSEL,A,LOC,x,3.47,3.47
LSEL,R,LOC,y,2.66,4.04
LMESH,ALL

```

```

ALLSEL,ALL
!(CRIAÇÃO DA MALHA EM UMA PAREDE)
ESIZE,e*200*fator
TYPE,2          ! Escolhe o elemento de casca
MAT,2          ! Escolhe o alvenaria como material
REAL,10        ! Escolhe as propriedades geometricas 10
AMESH,1,6,1 ! coloca malha na area 1 a 6
AMESH,83,83,1 ! coloca malha na area 83
!(CRIAÇÃO DA MALHA DAS TELHAS)
ESIZE,e*200*fator
TYPE,2          ! Escolhe o elemento de casca
MAT,3          ! Escolhe a telha como material
REAL,11        ! Escolhe as propriedades geometricas 10
ASEL,S,LOC,Y,2.66,4.04
AMESH,ALL ! coloca malha na areas restantes
ALLSEL,ALL,ALL
! Copiar o outro lado da casa
LSYMM,Z,ALL, , , 0,0
ARSYM,Z,ALL, , , 0,0
nummrg,all,1e-3
!(CONDIÇÕES DE CONTORNO)
!DK,1,ALL,0     ENGASTE NO KEYPOINT 1, SOLTOU
!DK,2,ALL,0     ENGASTE NO KEYPOINT 2, SOLTOU
!DK,3,ALL,0     ENGASTE NO KEYPOINT 3, SOLTOU
!DK,4,ALL,0     ENGASTE NO KEYPOINT 4, SOLTOU
!DK,5,ALL,0     ENGASTE NO KEYPOINT 5, SOLTOU
!DK,6,ALL,0     ENGASTE NO KEYPOINT 6, SOLTOU
LSEL,S,LOC,Y,0,0 ! OPTOU POR ENGASTAR PELA COTA Y TODOS OS KEYPOINTS
DL,ALL,,ALL
ALLSEL,ALL
! Carga de Vento nas Telhas
ASEL,S,LOC,Y,2.66,4.04
ASEL,R,LOC,Z,-1000,1000
ASEL,U, , , 86
ASEL,U, , , 166
ASEL,U, , , 89

```



```
SFA,ALL,,PRESS,643
ALLSEL,ALL ! Carga de Vento nas Paredes
SFA,1,,PRESS,-496
SFA,2,,PRESS,-496
!SFA,3,,PRESS,-496
!SFA,6,,PRESS,-496
!SFA,84,,PRESS,-496
!SFA,85,,PRESS,-496
!SFA,86,,PRESS,-496
!SFA,89,,PRESS,-496
/ESHAPE,1
/SOLU
acel,0,grav,0
SOLVE
/eof
```

TXT POPMETAL VENTO LATERAL

ESPESSURA (e) = 1,52

FINISH

/CLEAR,START

/TITLE, ANÁLISE DE TENSÕES DO PROJETO CASA POP-METAL

!DEFINIÇÃO DE GEOMETRIA GEOMETRIA EM METROS

e=2.0e-3

fator=1

grav=9.81

/PREP7

!definição das dimensões

!MARCAÇÃO DAS COORDENADAS

X1=-3.5

Y1=0

Z1=3.0

X2=0

Y2=0

Z2=3.0

X3=3.5

Y3=0

Z3=3.0

X4=3.5

Y4=0

Z4=0

X5=0

Y5=0

Z5=0

X6=-3.5

Y6=0

Z6=0

X7=-3.5

Y7=2.844

Z7=3.0

X8=-1.75

Y8=y7

Z8=3.0

X9=0

Y9=y7

Z9=3.0

X10=1.75

Y10=y7

Z10=3.0

X11=3.5

Y11=y7

Z11=3.0

X12=3.97

Y12=4.04

Z12=0

X13=3.5

Y13=4.04

Z13=0

X14=1.75

Y14=4.04

Z14=0

X15=0
Y15=4.04
Z15=0
X16=-1.75
Y16=4.04
Z16=0
X17=-3.5
Y17=4.04
Z17=0
X18=-3.97
Y18=4.04
Z18=0
X101=-3.97
Y101=2.66
Z101=3.47
X102=-3.97
Y102=2.78
Z102=3.16
X103=-3.97
Y103=2.90
Z103=2.86
X104=-3.97
Y104=3.03
Z104=2.55
X105=-3.97
Y105=3.15
Z105=2.24
X106=-3.97
Y106=3.27
Z106=1.98
X107=-3.97
Y107=3.39
Z107=1.68
X108=-3.97
Y108=3.51
Z108=1.32
X109=-3.97
Y109=3.64
Z109=1.02
X110=-3.97
Y110=3.76
Z110=0.71
X111=-3.97
Y111=3.88
Z111=0.40
X112=-3.97
Y112=4.00
Z112=0.10
X201=-3.50
Y201=2.66
Z201=3.47
X202=-3.50
Y202=2.78
Z202=3.16
X203=-3.50

Y203=2.90
Z203=2.86
X204=-3.50
Y204=3.03
Z204=2.55
X205=-3.50
Y205=3.15
Z205=2.24
X206=-3.50
Y206=3.27
Z206=1.98
X207=-3.50
Y207=3.39
Z207=1.68
X208=-3.50
Y208=3.51
Z208=1.32
X209=-3.50
Y209=3.64
Z209=1.02
X210=-3.50
Y210=3.76
Z210=0.71
X211=-3.50
Y211=3.88
Z211=0.40
X212=-3.50
Y212=4.00
Z212=0.10
X301=-1.75
Y301=2.66
Z301=3.47
X302=-1.75
Y302=2.78
Z302=3.16
X303=-1.75
Y303=2.90
Z303=2.86
X304=-1.75
Y304=3.03
Z304=2.55
X305=-1.75
Y305=3.15
Z305=2.24
X306=-1.75
Y306=3.27
Z306=1.98
X307=-1.75
Y307=3.39
Z307=1.68
X308=-1.75
Y308=3.51
Z308=1.32
X309=-1.75
Y309=3.64

Z309=1.02
X310=-1.75
Y310=3.76
Z310=0.71
X311=-1.75
Y311=3.88
Z311=0.40
X312=-1.75
Y312=4.00
Z312=0.10
X401=0
Y401=2.66
Z401=3.47
X402=0
Y402=2.78
Z402=3.16
X403=0
Y403=2.90
Z403=2.86
X404=0
Y404=3.03
Z404=2.55
X405=0
Y405=3.15
Z405=2.24
X406=0
Y406=3.27
Z406=1.98
X407=0
Y407=3.39
Z407=1.68
X408=0
Y408=3.51
Z408=1.32
X409=0
Y409=3.64
Z409=1.02
X410=0
Y410=3.76
Z410=0.71
X411=0
Y411=3.88
Z411=0.40
X412=0
Y412=4.00
Z412=0.10
X501=1.75
Y501=2.66
Z501=3.47
X502=1.75
Y502=2.78
Z502=3.16
X503=1.75
Y503=2.90
Z503=2.86

X504=1.75
Y504=3.03
Z504=2.55
X505=1.75
Y505=3.15
Z505=2.24
X506=1.75
Y506=3.27
Z506=1.98
X507=1.75
Y507=3.39
Z507=1.68
X508=1.75
Y508=3.51
Z508=1.32
X509=1.75
Y509=3.64
Z509=1.02
X510=1.75
Y510=3.76
Z510=0.71
X511=1.75
Y511=3.88
Z511=0.40
X512=1.75
Y512=4.00
Z512=0.10
X601=3.50
Y601=2.66
Z601=3.47
X602=3.50
Y602=2.78
Z602=3.16
X603=3.50
Y603=2.90
Z603=2.86
X604=3.50
Y604=3.03
Z604=2.55
X605=3.50
Y605=3.15
Z605=2.24
X606=3.50
Y606=3.27
Z606=1.98
X607=3.50
Y607=3.39
Z607=1.68
X608=3.50
Y608=3.51
Z608=1.32
X609=3.50
Y609=3.64
Z609=1.02
X610=3.50

Y610=3.76
Z610=0.71
X611=3.50
Y611=3.88
Z611=0.40
X612=3.50
Y612=4.00
Z612=0.10
X701=3.97
Y701=2.66
Z701=3.47
X702=3.97
Y702=2.78
Z702=3.16
X703=3.97
Y703=2.90
Z703=2.86
X704=3.97
Y704=3.03
Z704=2.55
X705=3.97
Y705=3.15
Z705=2.24
X706=3.97
Y706=3.27
Z706=1.98
X707=3.97
Y707=3.39
Z707=1.68
X708=3.97
Y708=3.51
Z708=1.32
X709=3.97
Y709=3.64
Z709=1.02
X710=3.97
Y710=3.76
Z710=0.71
X711=3.97
Y711=3.88
Z711=0.40
X712=3.97
Y712=4.00
Z712=0.10
X801=0.05
Y801=0
Z801=0
X802=0.85
Y802=0
Z802=0
X803=0.05
Y803=2.10
Z803=0
X804=0.85
Y804=2.10

Z804=0
X805=-0.05
Y805=0
Z805=0
X806=-0.85
Y806=0
Z806=0
X807=-0.85
Y807=2.10
Z807=0
X808=-0.05
Y808=2.10
Z808=0
!MARCAÇÃO DOS KEYPOINTS
! K,(NUMERO DO KEYPOINT),(COORDENADA EM X),(COORDENADA EM
Y),(COORDENADA EM Z)
K,1,X1,Y1,Z1
K,2,X2,Y2,Z2
K,3,X3,Y3,Z3
K,4,X4,Y4,Z4
K,5,X5,Y5,Z5
K,6,X6,Y6,Z6
K,7,X7,Y7,Z7
K,8,X8,Y8,Z8
K,9,X9,Y9,Z9
K,10,X10,Y10,Z10
K,11,X11,Y11,Z11
K,12,X12,Y12,Z12
K,13,X13,Y13,Z13
K,14,X14,Y14,Z14
K,15,X15,Y15,Z15
K,16,X16,Y16,Z16
K,17,X17,Y17,Z17
K,18,X18,Y18,Z18
K,101,X101,Y101,Z101
K,102,X102,Y102,Z102
K,103,X103,Y103,Z103
K,104,X104,Y104,Z104
K,105,X105,Y105,Z105
K,106,X106,Y106,Z106
K,107,X107,Y107,Z107
K,108,X108,Y108,Z108
K,109,X109,Y109,Z109
K,110,X110,Y110,Z110
K,111,X111,Y111,Z111
K,112,X112,Y112,Z112
K,201,X201,Y201,Z201
K,202,X202,Y202,Z202
K,203,X203,Y203,Z203
K,204,X204,Y204,Z204
K,205,X205,Y205,Z205
K,206,X206,Y206,Z206
K,207,X207,Y207,Z207
K,208,X208,Y208,Z208
K,209,X209,Y209,Z209

K,210,X210,Y210,Z210
K,211,X211,Y211,Z211
K,212,X212,Y212,Z212
K,301,X301,Y301,Z301
K,302,X302,Y302,Z302
K,303,X303,Y303,Z303
K,304,X304,Y304,Z304
K,305,X305,Y305,Z305
K,306,X306,Y306,Z306
K,307,X307,Y307,Z307
K,308,X308,Y308,Z308
K,309,X309,Y309,Z309
K,310,X310,Y310,Z310
K,311,X311,Y311,Z311
K,312,X312,Y312,Z312
K,401,X401,Y401,Z401
K,402,X402,Y402,Z402
K,403,X403,Y403,Z403
K,404,X404,Y404,Z404
K,405,X405,Y405,Z405
K,406,X406,Y406,Z406
K,407,X407,Y407,Z407
K,408,X408,Y408,Z408
K,409,X409,Y409,Z409
K,410,X410,Y410,Z410
K,411,X411,Y411,Z411
K,412,X412,Y412,Z412
K,501,X501,Y501,Z501
K,502,X502,Y502,Z502
K,503,X503,Y503,Z503
K,504,X504,Y504,Z504
K,505,X505,Y505,Z505
K,506,X506,Y506,Z506
K,507,X507,Y507,Z507
K,508,X508,Y508,Z508
K,509,X509,Y509,Z509
K,510,X510,Y510,Z510
K,511,X511,Y511,Z511
K,512,X512,Y512,Z512
K,601,X601,Y601,Z601
K,602,X602,Y602,Z602
K,603,X603,Y603,Z603
K,604,X604,Y604,Z604
K,605,X605,Y605,Z605
K,606,X606,Y606,Z606
K,607,X607,Y607,Z607
K,608,X608,Y608,Z608
K,609,X609,Y609,Z609
K,610,X610,Y610,Z610
K,611,X611,Y611,Z611
K,612,X612,Y612,Z612
K,701,X701,Y701,Z701
K,702,X702,Y702,Z702
K,703,X703,Y703,Z703
K,704,X704,Y704,Z704

K,705,X705,Y705,Z705
 K,706,X706,Y706,Z706
 K,707,X707,Y707,Z707
 K,708,X708,Y708,Z708
 K,709,X709,Y709,Z709
 K,710,X710,Y710,Z710
 K,711,X711,Y711,Z711
 K,712,X712,Y712,Z712
 K,801,X801,Y801,Z801
 K,802,X802,Y802,Z802
 K,803,X803,Y803,Z803
 K,804,X804,Y804,Z804
 K,805,X805,Y805,Z805
 K,806,X806,Y806,Z806
 K,807,X807,Y807,Z807
 K,808,X808,Y808,Z808
 !CRIAÇÃO DA ÁREA
 A,1,2,9,8,7
 A,2,3,11,10,9
 A,3,4,13,612,611,610,609,608,607,606,605,604,603,11 ! REFEITO
 A,4,802,804,803,801,5,15,14,13
 A,5,805,808,807,806,6,17,16,15
 A,1,6,17,212,211,210,209,208,207,206,205,204,203,7 ! REFEITO
 !A,1,2,5,6 ! (FUNDO DA CASA BASE LADO ESQUERDO)
 !A,2,3,4,5 ! (FUNDO DA CASA BASE LADO DIREITO)
 A,212,112,18,17
 A,211,111,112,212
 A,210,110,111,211
 A,209,109,110,210
 A,208,108,109,209
 A,207,107,108,208
 A,206,106,107,207
 A,205,105,106,206
 A,204,104,105,205
 A,203,103,104,204
 A,202,102,103,203,7
 !A,202,102,103,203
 A,201,101,102,202
 A,312,212,17,16
 A,311,211,212,312
 A,310,210,211,311
 A,309,209,210,310
 A,308,208,209,309
 A,307,207,208,308
 A,306,206,207,307
 A,305,205,206,306
 A,304,204,205,305
 A,303,203,204,304
 A,8,7,203,303
 A,302,202,7,8
 A,301,201,202,302
 A,412,312,16,15
 A,411,311,312,412
 A,410,310,311,411
 A,409,309,310,410

A,408,308,309,409
A,407,307,308,408
A,406,306,307,407
A,405,305,306,406
A,404,304,305,405
A,403,303,304,404
A,9,8,303,403
A,402,302,8,9
A,401,301,302,402
A,512,412,15,14
A,511,411,412,512
A,510,410,411,511
A,509,409,410,510
A,508,408,409,509
A,507,407,408,508
A,506,406,407,507
A,505,405,406,506
A,504,404,405,505
A,503,403,404,504
A,10,9,403,503
A,502,402,9,10
A,501,401,402,502
A,612,512,14,13
A,611,511,512,612
A,610,510,511,611
A,609,509,510,610
A,608,508,509,609
A,607,507,508,608
A,606,506,507,607
A,605,505,506,606
A,604,504,505,605
A,603,503,504,604
A,11,10,503,603
A,602,502,10,11
A,601,501,502,602
A,712,612,13,12
A,711,611,612,712
A,710,610,611,711
A,709,609,610,710
A,708,608,609,709
A,707,607,608,708
A,706,606,607,707
A,705,605,606,706
A,704,604,605,705
A,703,603,604,704
A,702,602,11,603,703
A,701,601,602,702
A,2,9,403,404,405,406,407,408,409,410,411,412,15,5
ANTYPE,STATIC
!(DEFINE O TIPO DE ANÁLISE, ESTÁTICA)
!PROPRIEDADES DO MATERIAL
!MP,(MÓDULO DE ELASTICIDADE), (NÚMERO DO MATERIAL), (VALOR)
MP,EX,1,210e9 ! Aco
MP,PRXY,1,0.29
MP,DENS,1,7800

```

MP,EX,2,2.5e9                ! Alvenaria
MP,PRXY,2,0.25
MP,DENS,2,2000                ! Massa Específica da alvenaria (kg/m3)
MP,EX,3,(2.5e9)              ! Telha
MP,PRXY,3,0.25
MP,DENS,3,2000                ! Massa Específica da telha (kg/m3)
!(DEFINIÇÃO DO TIPO DE ELEMENTO)
ET,1,BEAM4                    ! (ELEMENTO DE VIGA)
ET,2,SHELL63                  ! SHELL63(ELEMENTO DE PLACA)
A1=1.43e-4                    !24RIPAS
lz1=5.5e-8
ly1=1.44e-8
dz1=25e-3
dy1=50e-3
R,1,A1,lz1,ly1,dz1,dy1
A2=3.38e-4                    !5CAIBROS
ly2=54.1e-8
lz2=12.32e-8
dy2=50e-3
dz2=100e-3
R,2,A2,lz2,ly2,dz2,dy2
A3=4.53e-4                    !2VIGAS
lz3=159.20e-8
ly3=23.35e-8
dz3=60e-3
dy3=150e-3
R,3,A3,lz3,ly3,dz3,dy3
A4=7.13e-4                    !1CUMEEIRA
ly4=440.40e-8
lz4=53.20e-8
dy4=200e-3
dz4=75e-3
R,4,A4,lz4,ly4,dz4,dy4
A5=5.88e-4                    !4PILARES DE CANTO
lz5=98.08e-8
ly5=178.18e-8
dz5=100e-3
dy5=50e-3
R,5,A5,lz5,ly5,dz5,dy5
A6=5.88e-4                    !4 PILARES INTERMEDIÁRIOS
lz6=98.08e-8
ly6=178.18e-8
dz6=100e-3
dy6=50e-3
R,6,A6,lz6,ly6,dz6,dy6
A7=5.88e-4                    !1PILAR CENTRAL
lz7=98.08e-8
ly7=178.18e-8
dz7=100e-3
dy7=50e-3
R,7,A7,lz7,ly7,dz7,dy7
t10=90e-3                     ! ESPESSURA DA PAREDE DE
ALVENARIA
R,10,t10
t11=15e-3                     ! ESPESSURA DA TELHA

```

```

R,11,t11
!(DEFINIÇÃO DO TAMANHO DO ELEMENTO)
!(CRIAÇÃO DA MALHA EM UMA VIGA)
ESIZE,e*100*fator
TYPE,1          ! Escolhe o elemento de viga
MAT,1          ! Escolhe o aco como material
REAL,7         ! Escolhe as propriedades geometricas 7
LMESH,28      ! coloca malha na linha 28 PILAR CENTRAL
REAL,6         ! Escolhe as propriedades geometricas 6
LMESH,11     ! coloca malha na linha 11 PILARES INTERMEDIÁRIOS
LMESH,2       ! coloca malha na linha 2  PILARES INTERMEDIÁRIOS
LMESH,36     ! coloca malha na linha 36 PILARES INTERMEDIÁRIOS
REAL,5        ! Escolhe as propriedades geometricas 5
LMESH,7       ! coloca malha na linha 7  PILARES DE CANTO
LMESH,5       ! coloca malha na linha 5  PILARES DE CANTO
REAL,4        ! Escolhe as propriedades geometricas 4  CUMEEIRA
LSEL,S,LOC,Y,4.04,4.04
LSEL,R,LOC,Z,0,0
LMESH,ALL
REAL,1        ! Escolhe as propriedades geometricas 1 24 RIPAS
LSEL,S,LOC,Z,0.10,0.10
LSEL,A,LOC,Z,0.40,0.40
LSEL,A,LOC,Z,0.71,0.71
LSEL,A,LOC,Z,1.02,1.02
LSEL,A,LOC,Z,1.32,1.32
LSEL,A,LOC,Z,1.68,1.68
LSEL,A,LOC,Z,1.98,1.98
LSEL,A,LOC,Z,2.24,2.24
LSEL,A,LOC,Z,2.55,2.55
LSEL,A,LOC,Z,2.86,2.86
LSEL,A,LOC,Z,3.16,3.16
LSEL,A,LOC,Z,3.47,3.47
LMESH,ALL
REAL,3        ! Escolhe as propriedades geometricas 3  2 VIGAS EXTERNAS
LSEL,S,LOC,Z,3.0,3.0
LSEL,R,LOC,X,-3.5*0.98,3.5*0.98
LSEL,R,LOC,Y,2.844,2.844
LMESH,ALL
REAL,2        ! Escolhe as propriedades geometricas 2  5 CAIBROS
LSEL,S,LOC,x,3.5,3.5
LSEL,A,LOC,x,1.75,1.75
LSEL,A,LOC,x,0,0
LSEL,A,LOC,x,-1.75,-1.75
LSEL,A,LOC,x,-3.5,-3.5
LSEL,A,LOC,x,3.47,3.47
LSEL,R,LOC,y,2.66,4.04
LMESH,ALL
ALLSEL,ALL !(CRIAÇÃO DA MALHA EM UMA PAREDE)
ESIZE,e*200*fator
TYPE,2        ! Escolhe o elemento de casca
MAT,2        ! Escolhe o alvenaria como material
REAL,10      ! Escolhe as propriedades geometricas 10
AMESH,1,6,1 ! coloca malha na area 1 a 6
AMESH,83,83,1 ! coloca malha na area 83
!(CRIAÇÃO DA MALHA DAS TELHAS)

```

```

ESIZE,e*200*fator
TYPE,2          ! Escolhe o elemento de casca
MAT,3          ! Escolhe a telha como material
REAL,11        ! Escolhe as propriedades geometricas 10
ASEL,S,LOC,Y,2.66,4.04
AMESH,ALL     ! coloca malha na areas restantes
ALLSEL,ALL,ALL
! Copiar o outro lado da casa
LSYMM,Z,ALL, , , 0,0
ARSYM,Z,ALL, , , 0,0
nummrg,all,1e-3 !(CONDIÇÕES DE CONTORNO)
!DK,1,ALL,0    ENGASTE NO KEYPOINT 1, SOLTOU
!DK,2,ALL,0    ENGASTE NO KEYPOINT 2, SOLTOU
!DK,3,ALL,0    ENGASTE NO KEYPOINT 3, SOLTOU
!DK,4,ALL,0    ENGASTE NO KEYPOINT 4, SOLTOU
!DK,5,ALL,0    ENGASTE NO KEYPOINT 5, SOLTOU
!DK,6,ALL,0    ENGASTE NO KEYPOINT 6, SOLTOU
LSEL,S,LOC,Y,0,0 ! OPTOU POR ENGASTAR PELA COTA Y TODOS OS KEYPOINTS
DL,ALL,,ALL
ALLSEL,ALL
! Carga de Vento nas Telhas
ASEL,S,LOC,Y,2.66,4.04
ASEL,R,LOC,Z,-1000,1000
ASEL,U, , , 86
ASEL,U, , , 166
ASEL,U, , , 89
SFA,ALL,,PRESS,643
ALLSEL,ALL
! Carga de Vento nas Paredes
!SFA,1,,PRESS,-496
!SFA,2,,PRESS,-496
SFA,3,,PRESS,-496
!SFA,6,,PRESS,-496
!SFA,84,,PRESS,-496
!SFA,85,,PRESS,-496
SFA,86,,PRESS,-496
!SFA,89,,PRESS,-496
/ESHAPE,1
/SOLU
acel,0,grav,0
SOLVE
/eof

```

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
CELSO SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ

DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENADORIA DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA
DISSERTAÇÃO

CONTRIBUIÇÃO À ANÁLISE ESTRUTURAL DE CASAS POPULARES COM
ESTRUTURA METÁLICA ATRAVÉS DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Francisco de Assis Corrêa

(Mestrando)

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TECNOLOGIA

Data da defesa: 25/09/2009.

Aprovação:

Pedro Manuel Galas Lopes Pacheco, D.Sc.

Cristina Gomes de Souza, D.Sc.

Hector Reynaldo Meneses Costa, D.Sc.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)