



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



1

# SISTEMA DE COBERTURA COM PÓRTICOS DE ESTABILIZAÇÕES BIDIRECIONAIS EM PERFIS METÁLICOS DE SEÇÃO CIRCULAR COM COSTURA PARA CONSTRUÇÃO RESIDENCIAL INDUSTRIALIZADA

**DEFESA DE MESTRADO EM CONSTRUÇÃO METÁLICA**

**Autora: CRISTINA EVANGELISTA SILVA**

**Orientadores: Prof. Dr. Henor Artur de Souza  
Prof. Dr. Ernani Carlos de Araújo**

**Ouro Preto, setembro de 2011.**

# 1. INTRODUÇÃO

- Com o desenvolvimento tecnológico, a indústria da construção civil obteve um grande impulso.
- Na Europa, Ásia e América do Norte: a construção metálica integrada aos elementos pré-fabricados são frequentemente utilizados.
- No Brasil e em outros países da América do Sul: a cultura construtiva se caracteriza pela construção tradicional. Além disso, possui um *déficit* habitacional preocupante.

# 1. INTRODUÇÃO

- Catástrofes naturais causadas pelas fortes chuvas, terremotos e furacões têm sido cada vez mais frequentes no mundo.



FIG. 1 - Terremotos no Chile  
Fonte: REVISTA BCZ, 2010.



FIG. 2 - Terremotos no Haiti  
Fonte: FOLHA, 2010.

## 2. OBJETIVO

- Propor um modelo arquitetônico e estrutural com a utilização de pórticos de estabilizações bidirecionais como solução para construção residencial (de baixa à média renda), estando dentro dos conceitos de sustentabilidade.
- Um sistema estrutural mais eficiente que os convencionais, apresentando maior resistência a ações (fortes ventos e até mesmo abalos sísmicos).

# 3. METODOLOGIA

- Estudos preliminares e maquetes físicas;

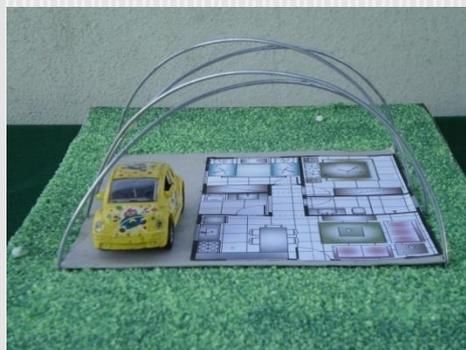


FIG. 3 - Maquete do sistema estrutural proposto



FIG. 4 - Maquete do modelo proposto

# 3. METODOLOGIA

- Pesquisas sobre os principais elementos estruturais e de fechamento da construção;

## Programas computacionais

- Programa *AutoCad*: projeto arquitetônico e estrutural;
- Programa *SketchUp*: modelagem em 3D;
- Programa *ANSYS*: análise estrutural dos pórticos bidirecionais;
- Análise comparativa com outros modelos estruturados em aço e com a construção convencional (programa *Cypecad*).

# 4. MODELO ARQUITETÔNICO E ESTRUTURAL PROPOSTO

- Baseia-se em um processo construtivo com a utilização de pórticos de estabilizações bidirecionais.
- **Pórticos bidirecionais:** são pórticos espaciais formados por arcos que se cruzam e proporcionam a estabilidade de uma construção em duas direções perpendiculares quando submetidos a ações horizontais (vento).

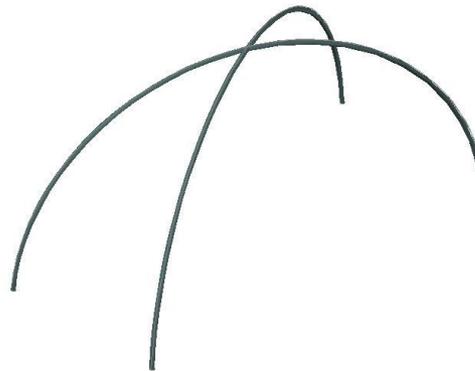


FIG. 5 – Pórticos de estabilizações bidirecionais

- **No sistema convencional:** a estrutura das construções são compostas por pilares e vigas de concreto armado.

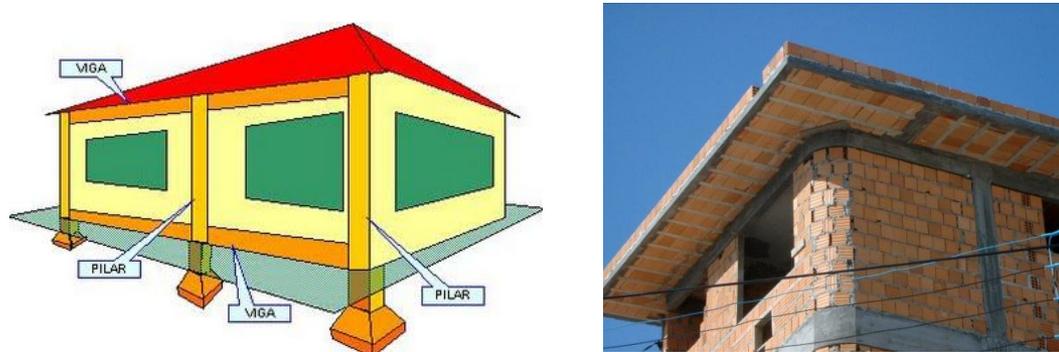


FIG. 6 – Sistema convencional

- **Na construção proposta:** a estrutura que sustenta a cobertura é composta por dois módulos de pórticos bidirecionais.

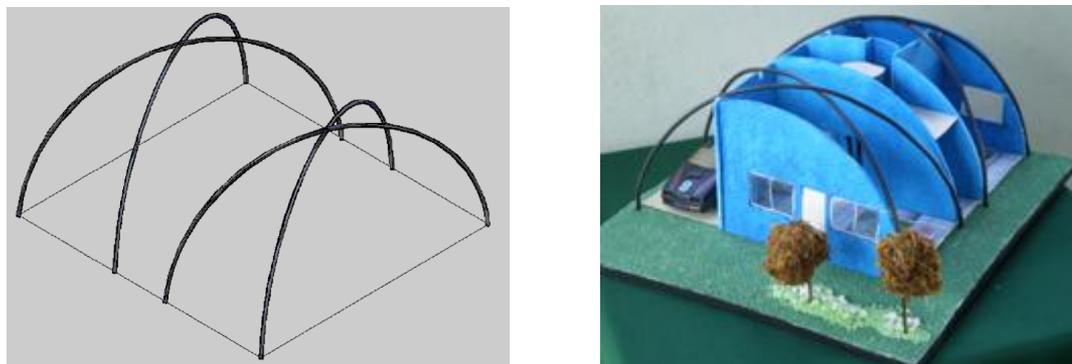


FIG. 7 – Sistema convencional

# 4. MODELO ARQUITETÔNICO E ESTRUTURAL PROPOSTO

- A construção foi projetada com uma modulação simples composta por dois módulos de pórticos bidirecionais com vãos de 9 m, seguindo a modulação nos eixos transversais de 3,80 m, 2,00 m e 3,80 m.

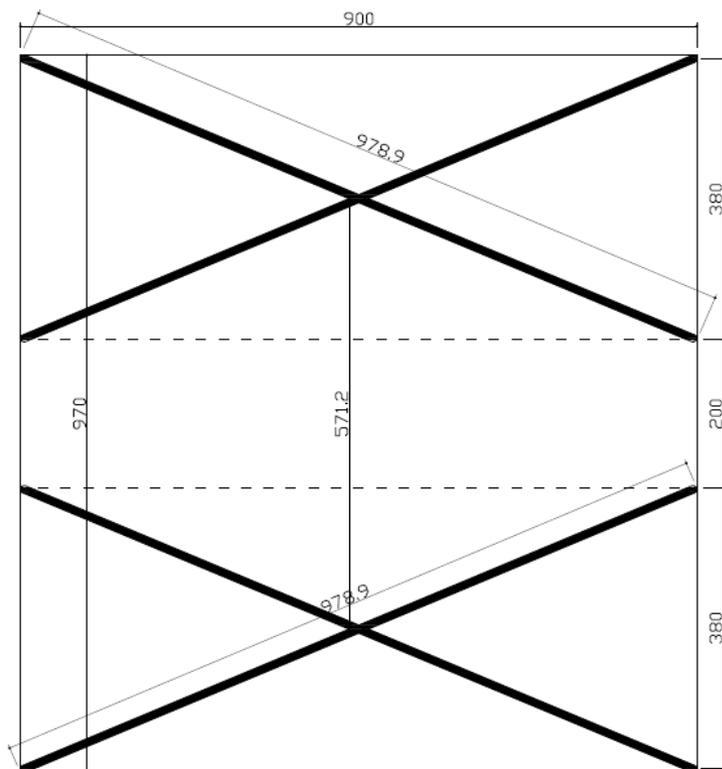


FIG. 8 - Planta do sistema estrutural

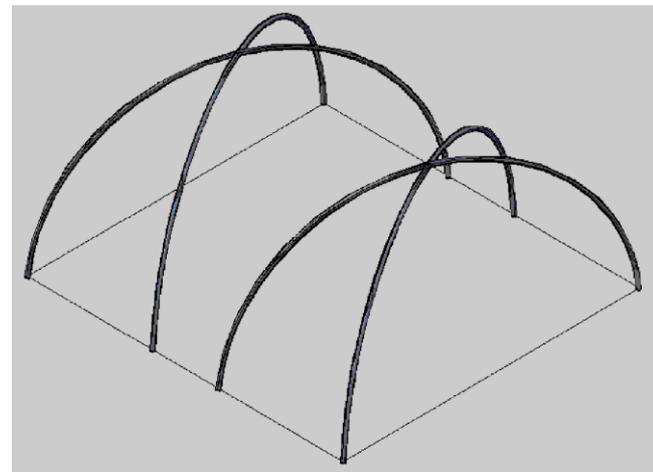


FIG. 9 - Perspectiva dos pórticos de estabilizações

bidirecionais

# 4. MODELO ARQUITETÔNICO E ESTRUTURAL PROPOSTO

- A residência possui uma volumetria simples com a composição marcada pela utilização da cobertura arqueada que tem dupla função (parede e coberta).



FIG. 10 - Perspectiva do modelo proposto

# 4. MODELO ARQUITETÔNICO E ESTRUTURAL PROPOSTO

- Esse sistema é mais eficiente que os convencionais e apresenta maior resistência a ações (fortes ventos e até abalos sísmicos).



FIG. 11 - Perspectiva frontal



FIG. 12 - Perspectiva posterior

A construção proposta possui uma área construída de  $87,30 \text{ m}^2$  e oferece possibilidades de ampliação da casa.

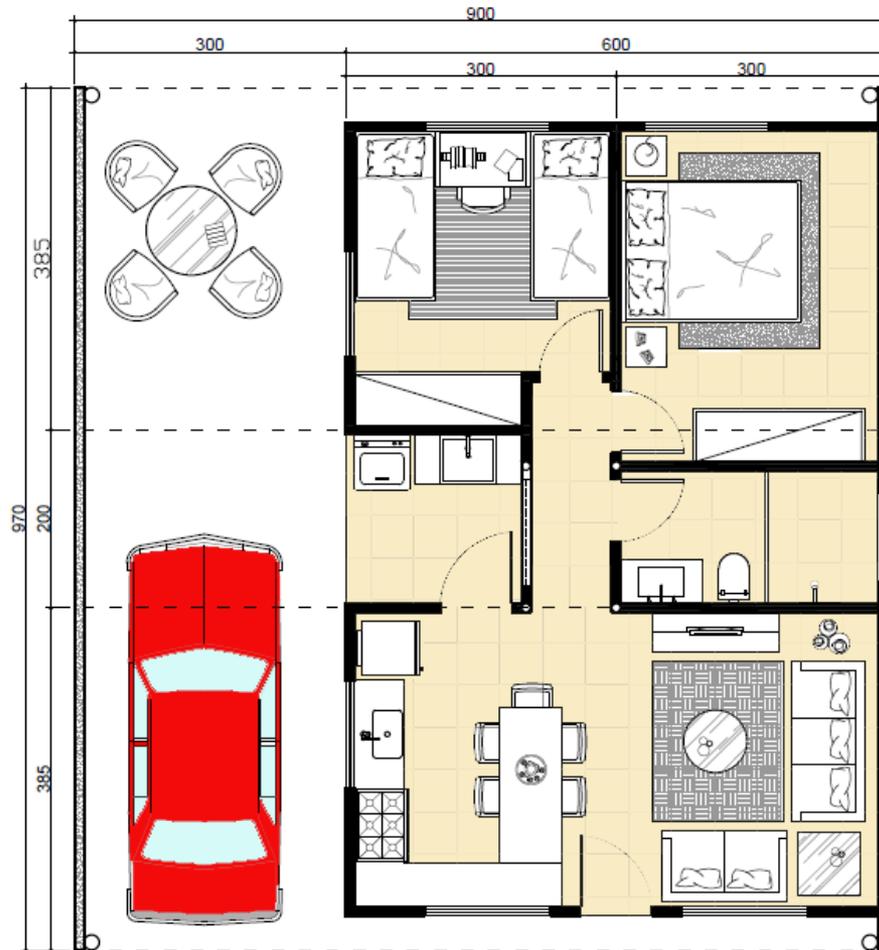


FIG. 13 - Planta



FIG. 14 - Perspectiva

Pé direito (4,30 m) elevado devido a caixa d'água.

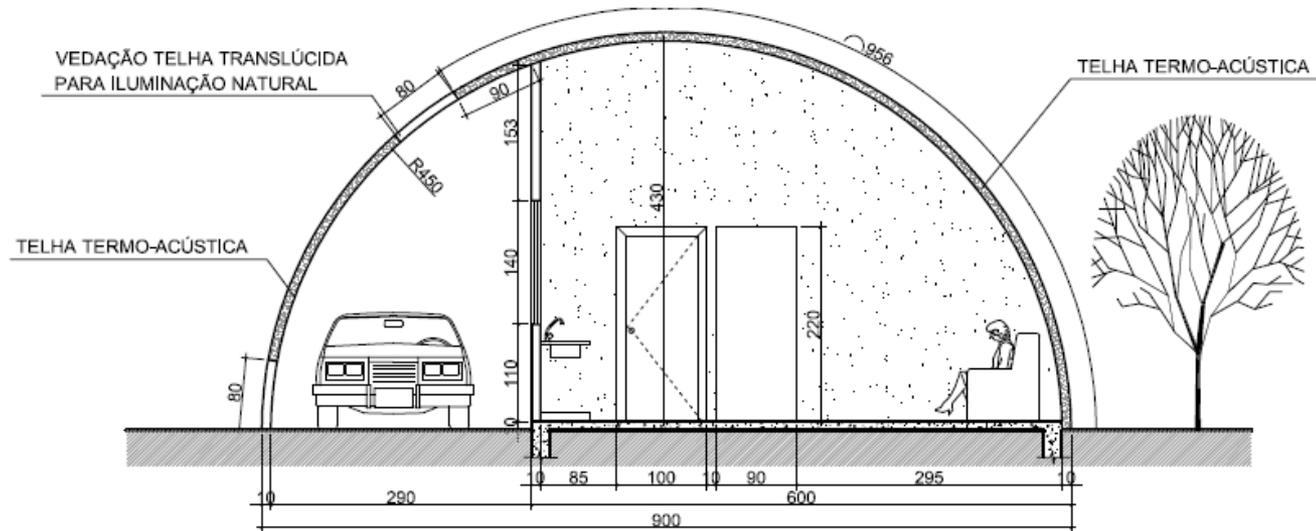


FIG. 15 – Corte (sala/cozinha)

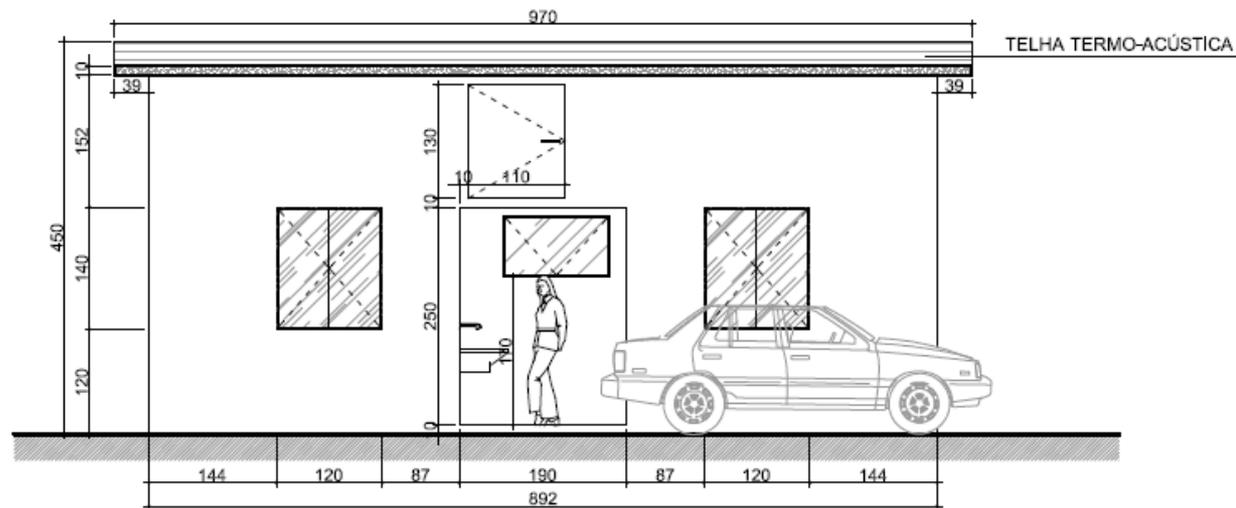


FIG. 16 – Corte (extensão da garagem)

# Cozinha e sala de estar/tv

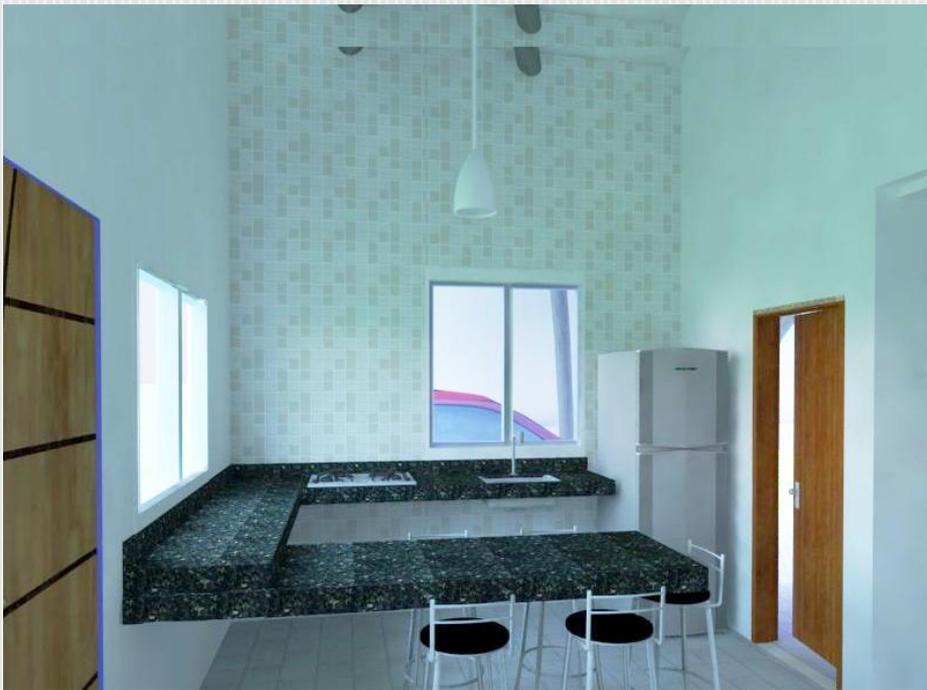


FIG. 17 – Perspectiva da cozinha



FIG. 18 – Perspectiva da sala de estar/tv

# Quarto 1 (Casal)



FIG. 19 – Perspectiva do quarto 1 (casal)

# Quarto 2 (filhos)



FIG. 20 – Perspectiva do quarto 2 (filhos)

# Banheiro



FIG. 21 – Perspectiva do banheiro

# Área de serviço



FIG. 22 – Perspectiva da área de serviço

# 4.1 Elementos estruturais

- **Pórticos bidirecionais:** são compostos por arcos com geratriz circular, formados por perfis tubulares de seção circular.

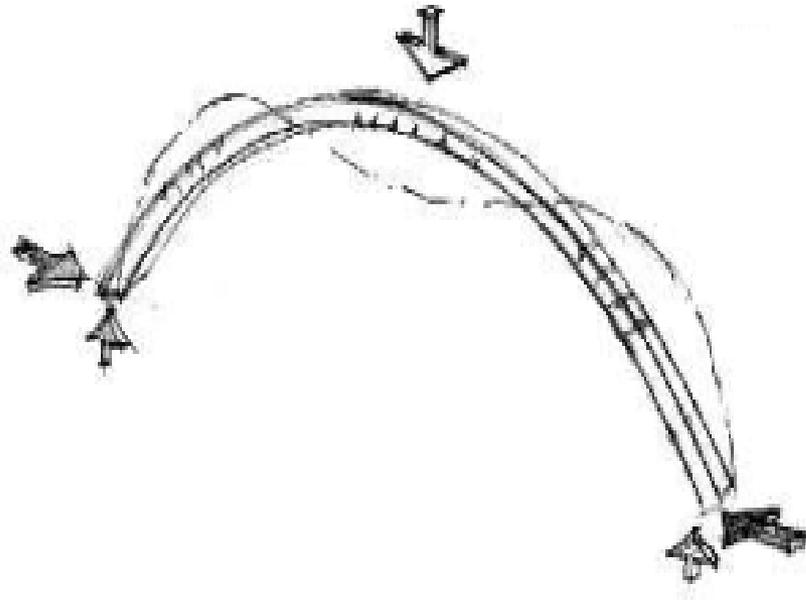


FIG.23 – Arco em perspectiva com forças aplicadas  
Fonte: MARINGONI, 2004.

# 4.1 Elementos estruturais

- **Perfis tubulares:** de chapa dobrada com costura, obtidos pelo processo de dobramento de chapas a frio.

Em seguida, passam pelo processo de soldagem por indução de alta frequência, onde o indutor e rolo de solda costuram os tubos.

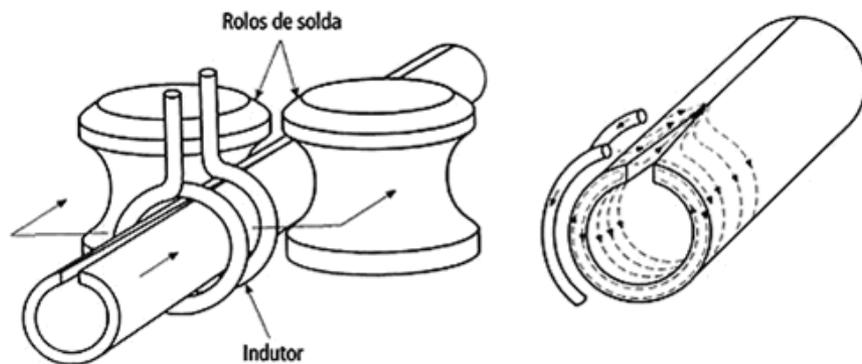


FIG. 24 – Processo de soldagem por indução de alta frequência  
Fonte: STEFANI, 2007.



FIG. 25 – Perfis tubulares com costura  
Fonte: TUBONAL, 2010.

# 4.1 Elementos estruturais

- Os pórticos de estabilizações bidirecionais são compostos por 4 tubos com as seguintes dimensões:



FIG. 26 - Desenho esquemático do tubo metálico com costura

# 4.1 Elementos estruturais

- Os tubos após sua produção passarão pelo **processo de curvamento a frio**, devido a sua pequena espessura.

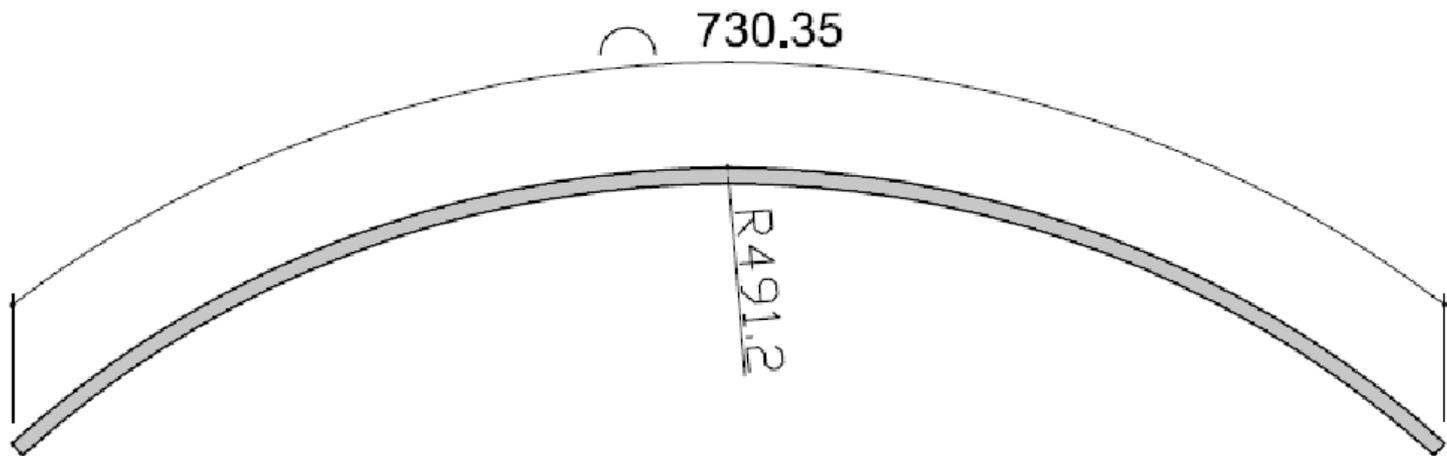


FIG. 27 – Tubo metálico com seu raio de curvatura

# 4.1 Elementos estruturais

- Serão interligados entre si por uma ligação de topo do tipo “conexão cruzada”, onde os tubos serão encaixados na conexão e depois parafusados.

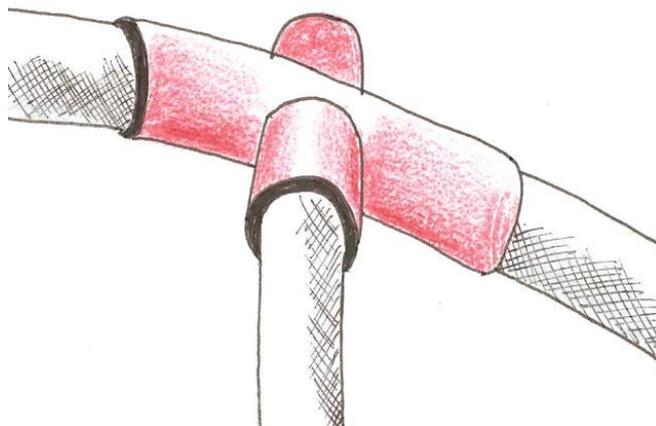


FIG. 28 – Desenho esquemático da “conexão cruzada”

# 4.1 Elementos estruturais

- Serão fixados na fundação *radier* por uma **ligação de base soldada e parafusada** por dois parafusos dando maior estabilidade e funcionando como vínculo rotulado.

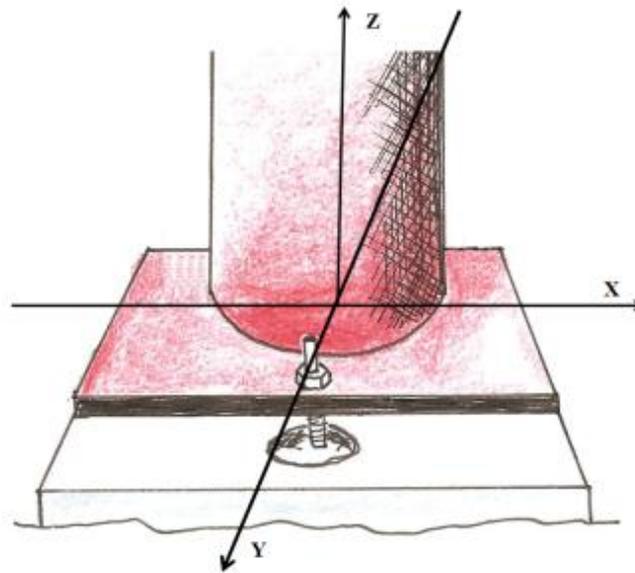


FIG. 29 – Ligação de base (rótula em torno do eixo y)

# 4.1 Elementos estruturais

- Os arcos foram divididos para facilitar o transporte e a montagem da estrutura.

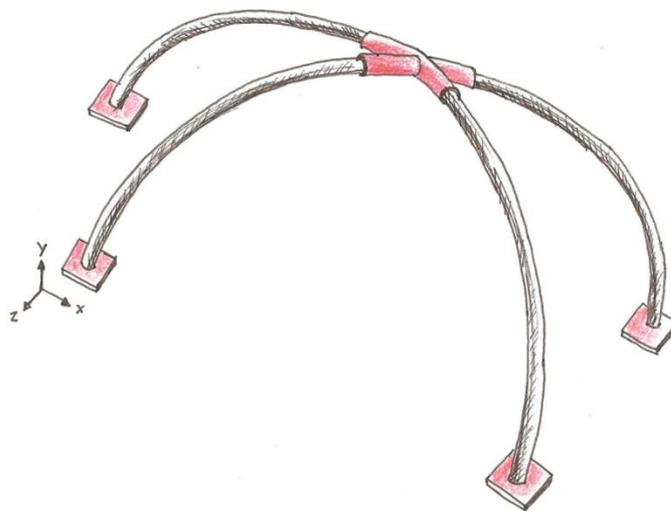


FIG. 30 – Pórticos propostos montados

Na área da garagem tem-se a opção de ser totalmente fechada pela telha ou possuir espaços abertos. Pode-se usar telhas diferenciadas.

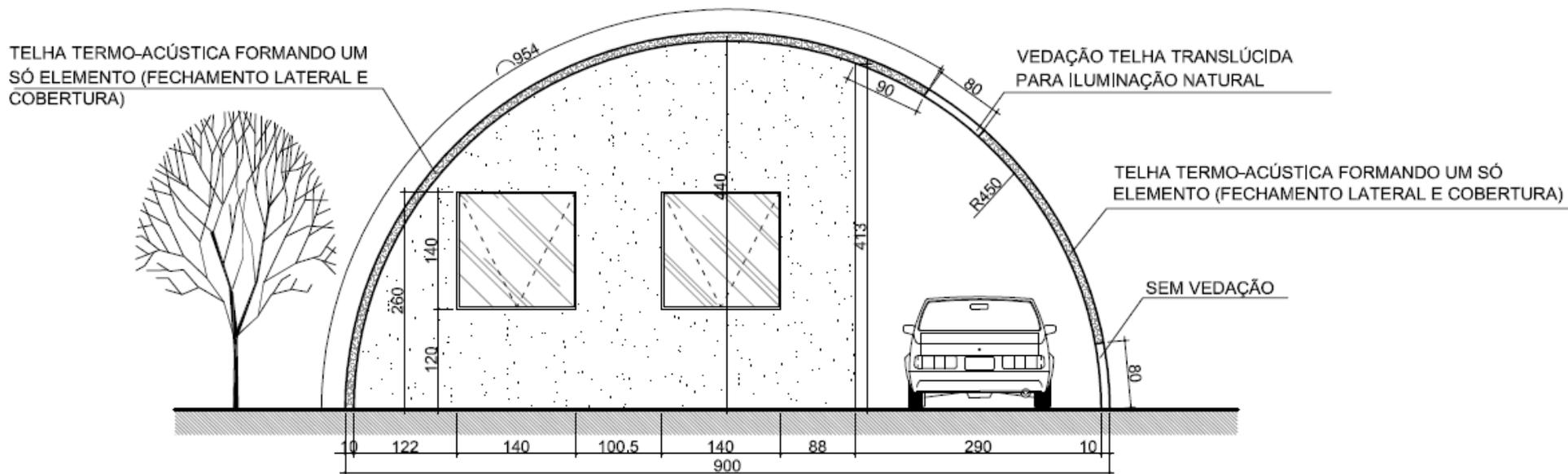


FIG. 31 – Fachada posterior



FIG. 32 – Perspectiva área da garagem

## 4.2.1 Cobertura metálica com telhas termo-acústicas

- A cobertura e paredes laterais serão um único elemento, e necessitam de um bom isolamento térmico e acústico.
- Nas coberturas arqueadas, as telhas recebem as curvaturas específicas e depois são fixadas na estrutura do telhado.

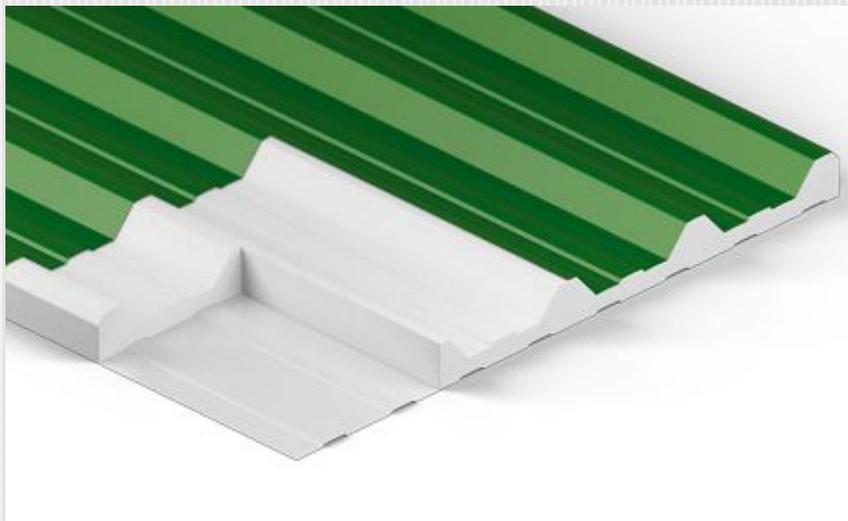


FIG. 33 – Telha termo-acústica  
Fonte: ANANDA, 2010.



FIG. 34 – Telha calandrada  
Fonte: ANANDA, 2010.

## 4.2 Elementos de fechamento

### 4.2.1 Cobertura metálica com telhas termo-acústicas

- As telhas sanduíches serão do tipo telha-forro.
- O isolamento térmico e acústico escolhido é o poliuretano.

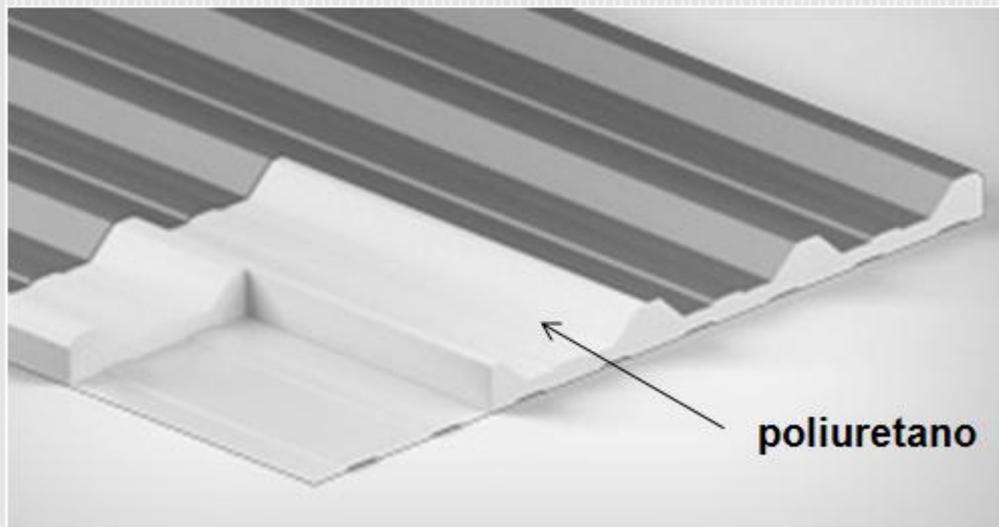


FIG. 35 – Detalhe da telha termo-acústica  
Fonte: ANANDA, 2010.

A caixa d'água é sustentada por um pórtico mais elevado.

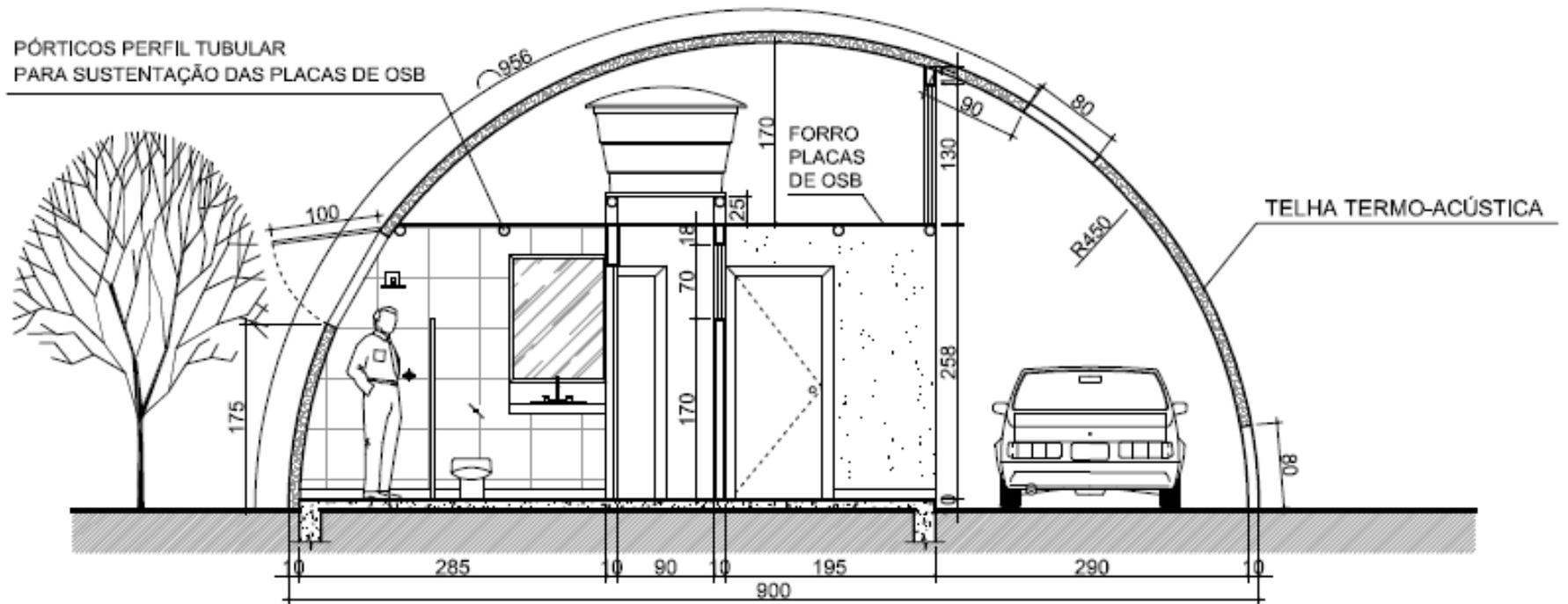


FIG. 38 – Corte mostrando a área da caixa d'água

A **iluminação artificial** nos ambientes que não possuem forro é feita por meio de luminárias pendentes e saem através dos tubos metálicos.



FIG. 39 – Detalhe da iluminação artificial

# 4.2 Elementos de fechamento

## 4.2.3 Sistema construtivo em *Light Steel Framing*

- O fechamento externo será com placas cimentícias;
- O fechamento interno será com placas de gesso acartonado;
- E o isolamento termo-acústico entre as placas será com lã de vidro.



FIG. 40 – Perspectiva da casa sem cobertura metálica

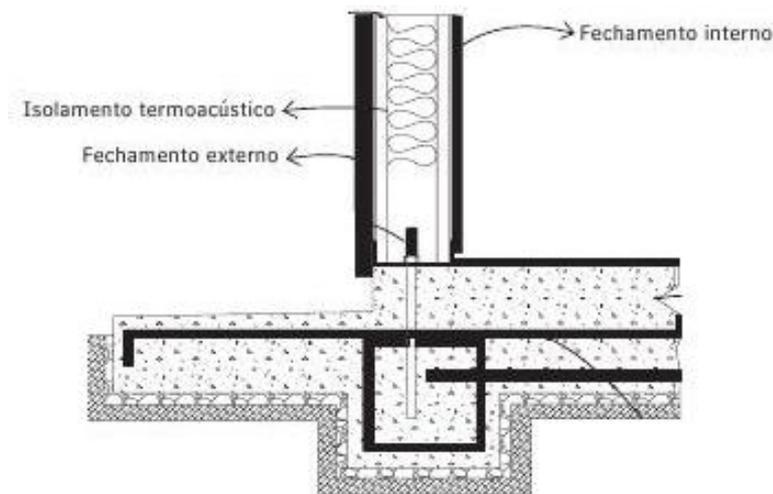


FIG. 41 – Detalhe do *Light Steel Framing*  
Fonte: FLASAN, 2011.

# 5. ANÁLISE DO SISTEMA ESTRUTURAL

- Utilizou-se o software **ANSYS** e a análise estrutural foi realizada pelo **Método dos Elementos Finitos**, dividindo os arcos que compõem a estrutura num total de 297 elementos.

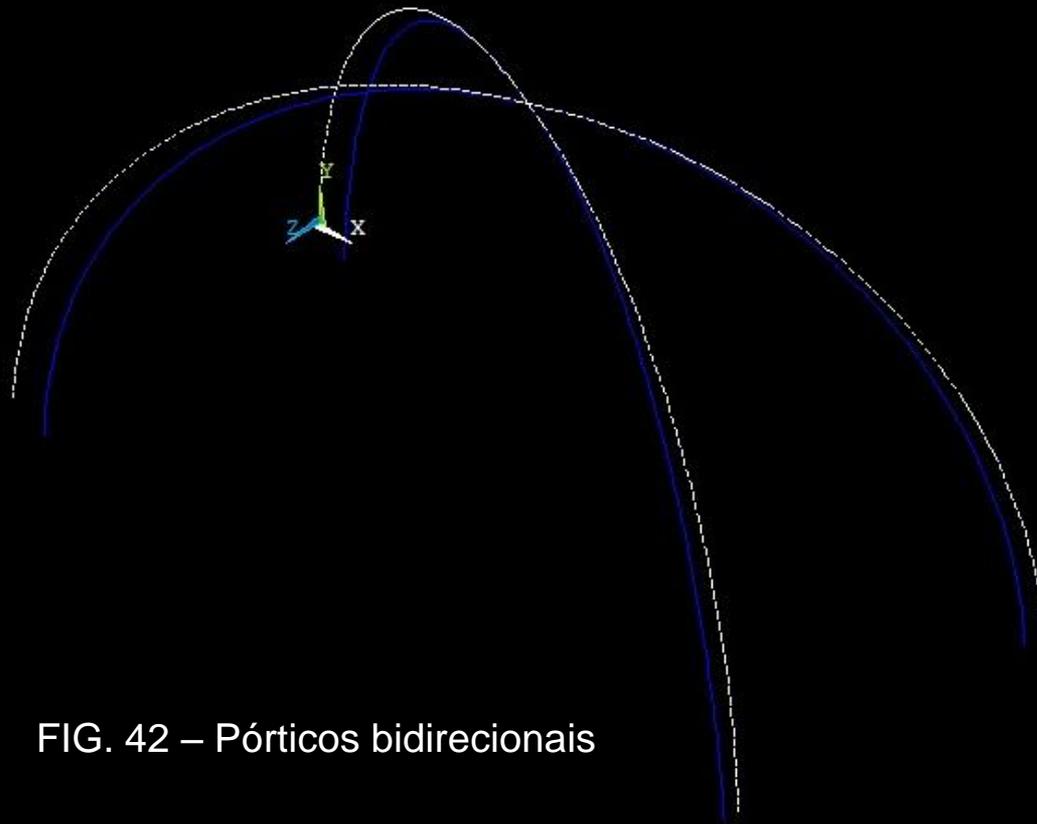


FIG. 42 – Pórticos bidirecionais

## 5.1.1 Vinculações

- A ligação de topo (conexão cruzada) dos 4 arcos que formam o pórtico foi considerada rígida e as ligações de base foram consideradas rotuladas.

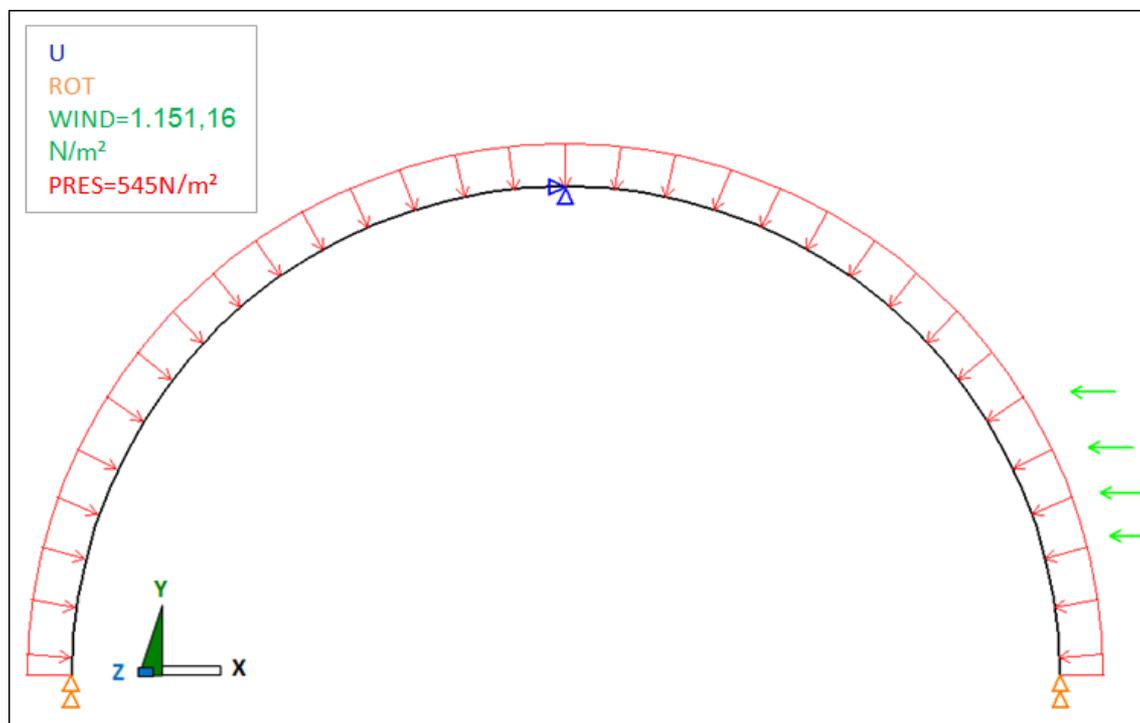


FIG. 43 – Estrutura com carregamentos e vinculações aplicados

## 5.1.2 Carregamentos verticais

- Como carregamentos verticais foram considerados apenas os carregamentos CP (carga permanente) e SC (sobrecarga).

Tabela 1 – Dados para cálculo estrutural

Carregamento	Tipo de carga	Dados de cálculo	Origem
1	CP (peso próprio da telha termo-acústica)	4,5 kg/m <sup>2</sup> (45 N/m <sup>2</sup> )	Catálogo de empresa fabricante
2	SC (sobrecarga)	0,5 kN/m <sup>2</sup> (500 N/m <sup>2</sup> )	NBR 6120 – 1980 <i>(Cargas para o cálculo de estruturas de Edificações)</i>
<b>Total carga uniformemente distribuída = 545 N/m<sup>2</sup></b>			

## 5.1.3 Carregamento horizontal devido ao efeito de vento

- A **Carga de Vento** aplicada perpendicular a fachada lateral direita da edificação foi de  $1.151,16 \text{ N/m}^2$ .
- Obtida por meio da norma NBR 6123:1988 (*Força Devido ao Efeito de Vento*) e baseado na maior velocidade de vento já registrada no Brasil ( $49,7 \text{ m/s}$ ).

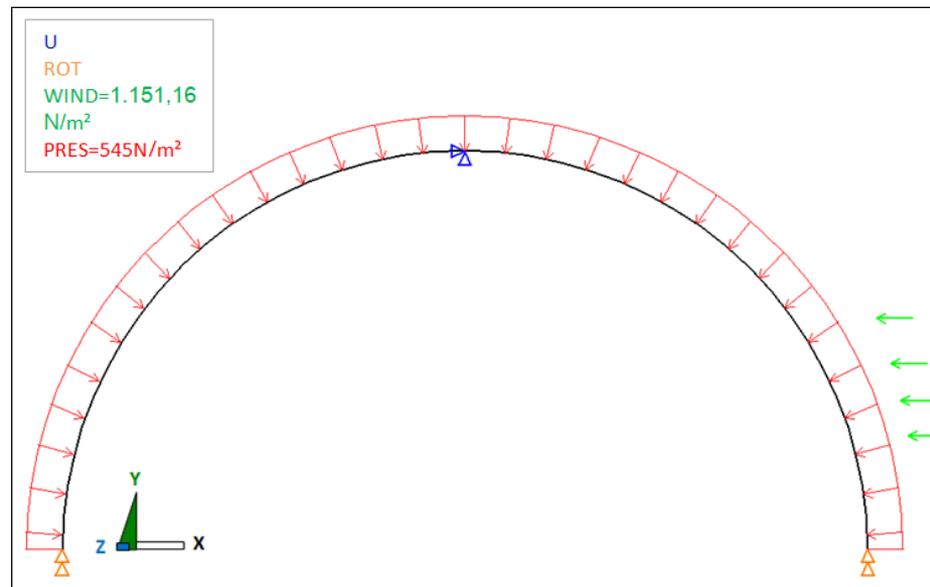


FIG. 44 – Estrutura com carregamentos e vinculações aplicados

# 5.2 Resultado e análises do sistema estrutural

## 5.2.1 Deslocamentos

- O deslocamento horizontal obtido foi de **3 mm**.

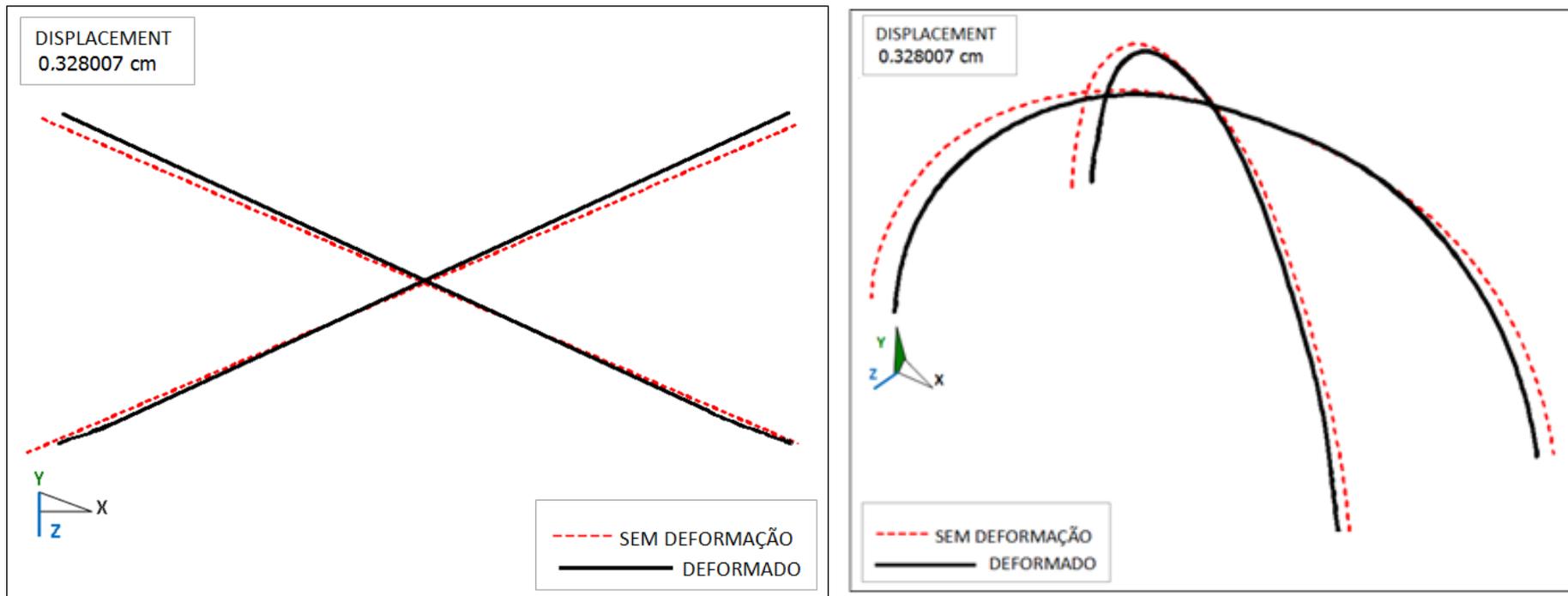


FIG. 45 – Estrutura deformada devido aos carregamentos aplicados

# 5.2 Resultado e análises do sistema estrutural

## 5.2.2 Força Axial

- A força axial consiste no esforço atuante em determinada estrutura podendo ser uma força de tração ou compressão.

Mínimo:  $0,154 \times 10^{-6}$  kN

Máximo: -2392 kN

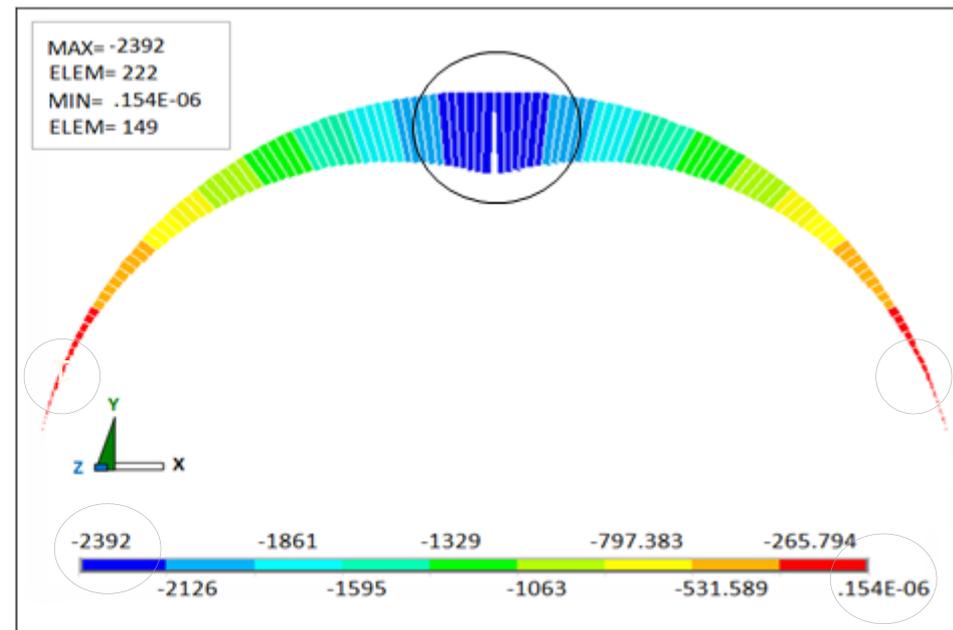
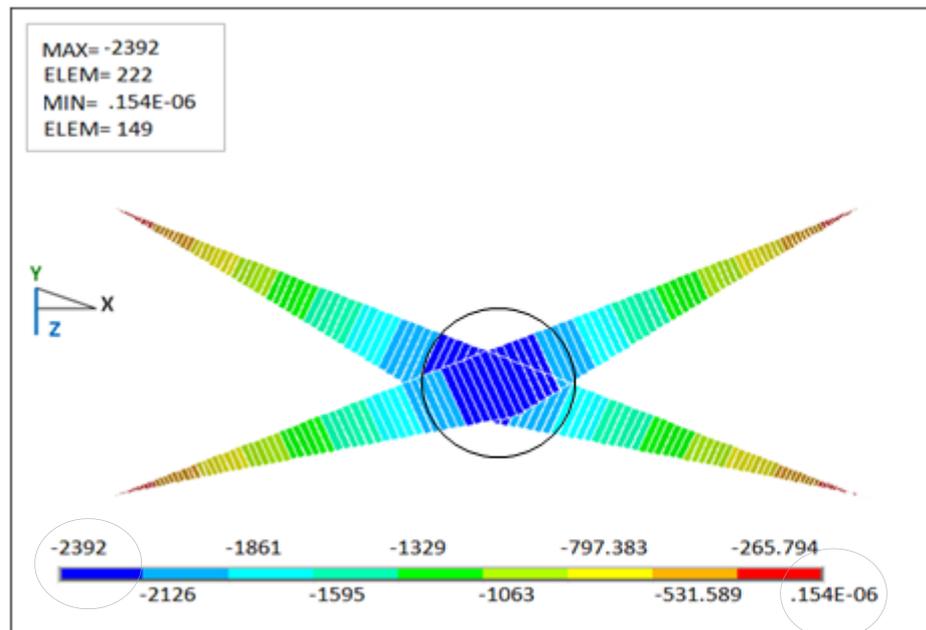


FIG. 46 – Diagrama de força axial

## 5.2 Resultado e análises do sistema estrutural

### 5.2.3 Momento Fletor

- O momento fletor consiste no esforço que tende a deformar uma estrutura por flexão, girando-a em torno de um eixo normal ao eixo da seção transversal.

Mínimo: -2667 N.m

Máximo: 2667 N.m

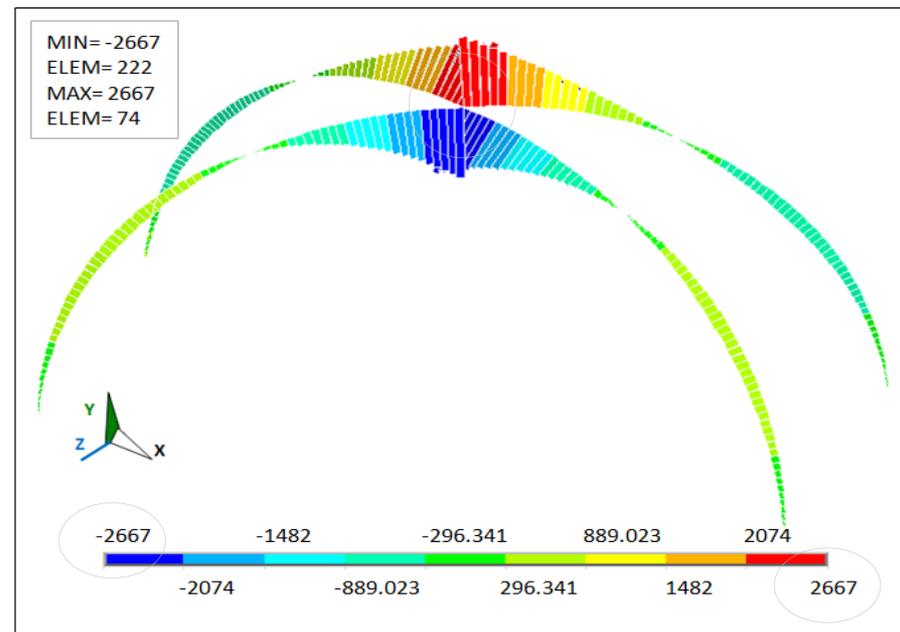
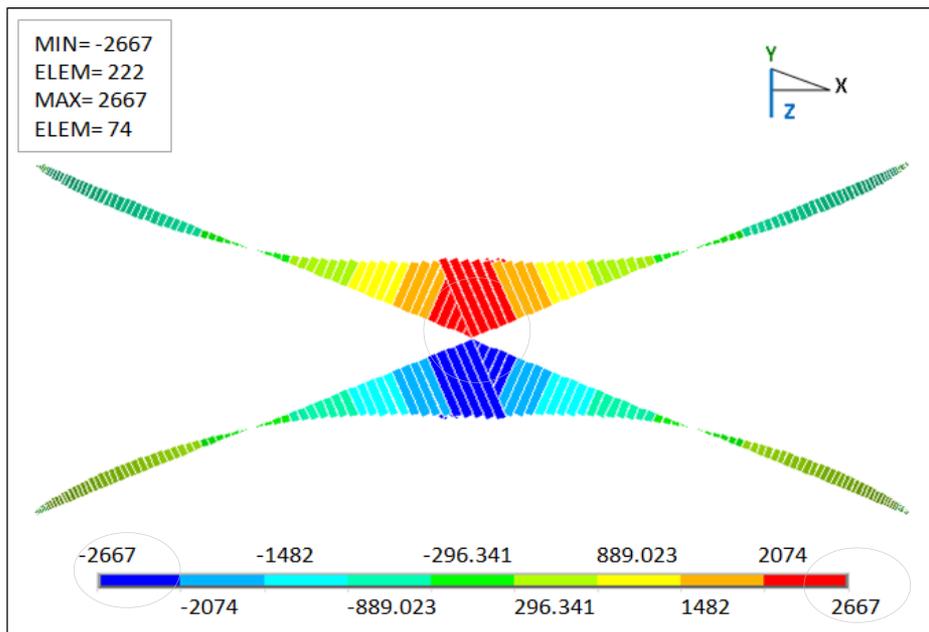


FIG. 47 – Diagrama de momento fletor

## 5.2.4 Deformação

- A deformação é a alteração geométrica originada pelas forças aplicadas na estrutura.

Mínimo:  $-0,225 \times 10^{-4}$  cm

Máximo:  $-0,208 \times 10^{-16}$  cm

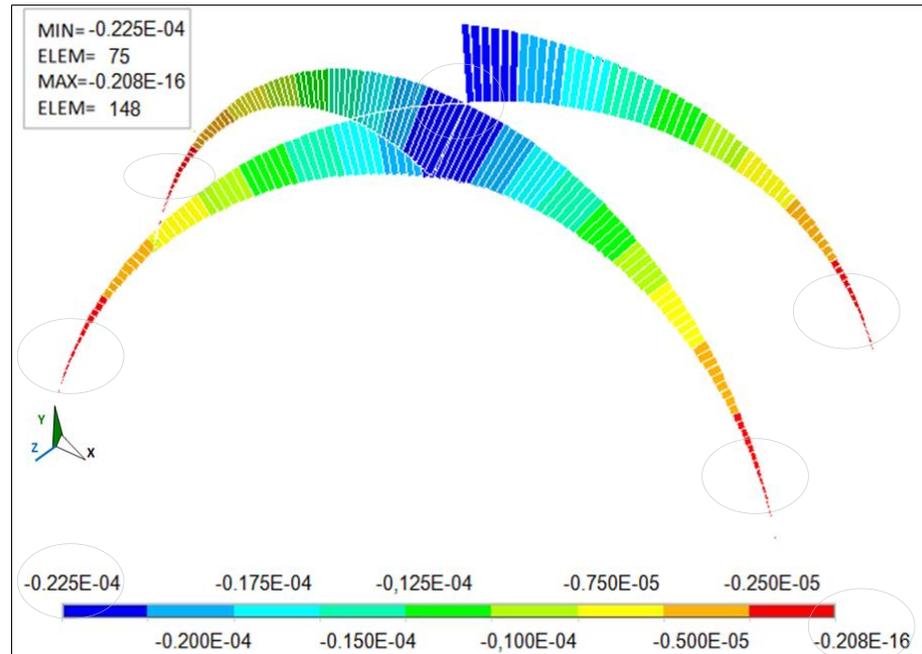
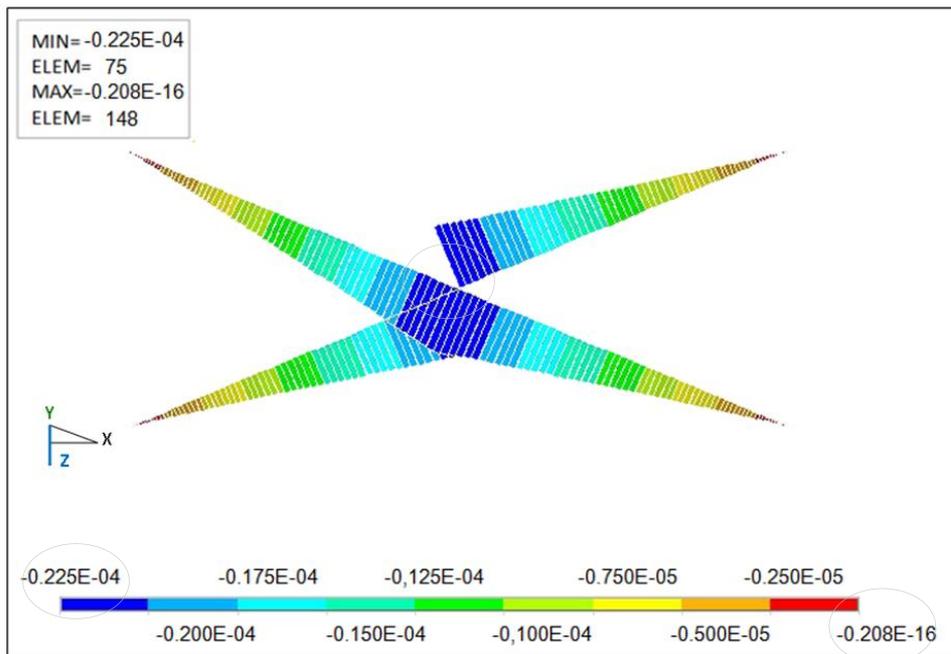
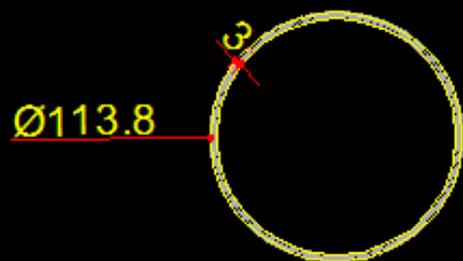


FIG. 48 – Diagrama de deformação

## 5.3 Comparação com outros modelos

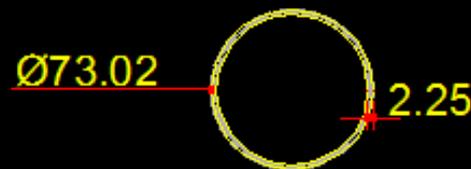
- Com os resultados obtidos da análise concluiu-se:
  - que o perfil de análise suportou os carregamentos aplicados, não houve rompimento da estrutura e sua deformação e deslocamento foram muito pequenos.

Pôde-se otimizar a seção do perfil utilizado na análise computacional.



OBSERVAÇÃO:  
COTAS EM MILÍMETROS

SEÇÃO CIRCULAR TUBONAL



OBSERVAÇÃO:  
COTAS EM MILÍMETROS

SEÇÃO CIRCULAR OTIMIZADA

FIG. 50 – Seção do perfil de análise e seção otimizada

## 5.3 Comparação com outros modelos

### 5.3.1 – Usiteto – Usiminas (MG)

- O Usiteto consiste em estrutura principal (esqueleto metálico de perfis leves) e engradamento metálico para cobertura.



FIG. 51 – Modelo Usiteto

## 5.3 Comparação com outros modelos

### 5.3.2 – Quick House – Big Farm Ltda (RS)

- O Quick House consiste no sistema construtivo com painéis autoportantes de aço galvanizado encaixados e parafusados uns aos outros.

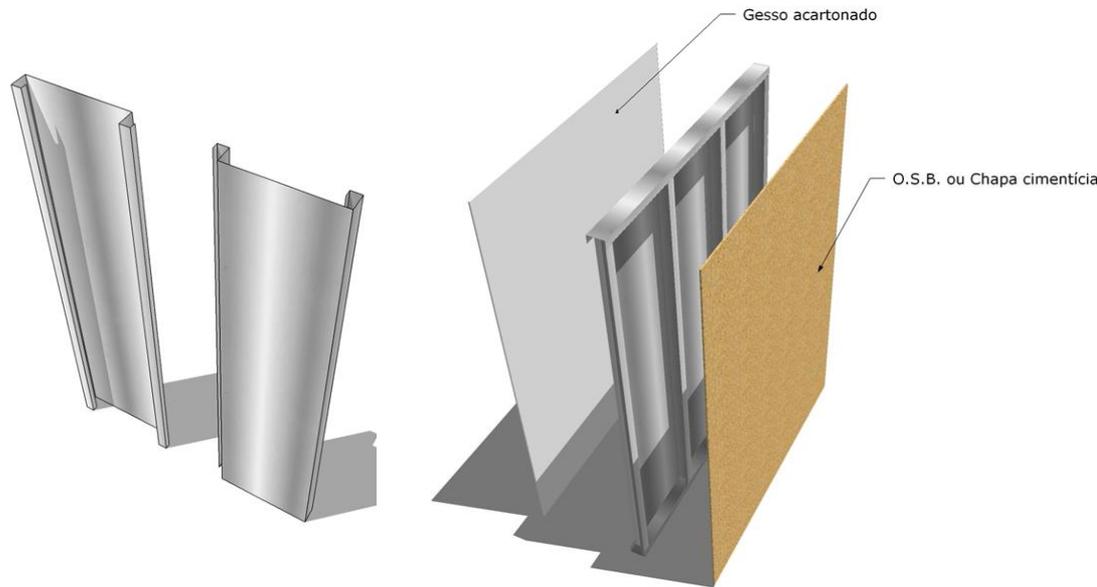


FIG. 52 – Painéis autoportantes de aço galvanizado



FIG. 53 – Modelo Quick House

## 5.3.3 – Construção Convencional

- A construção convencional usada nesta análise foi o modelo proposto construído no sistema convencional.

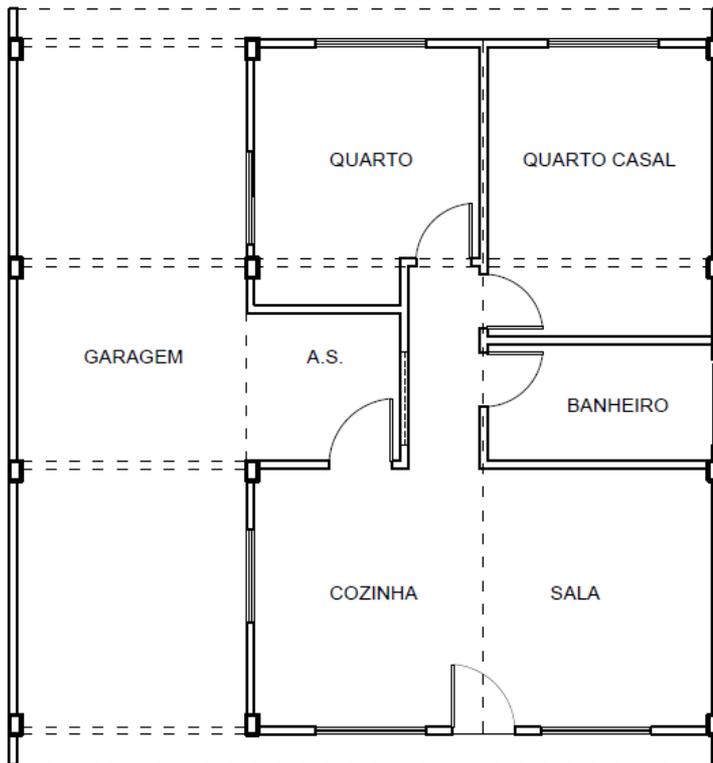


FIG. 54 – Planta

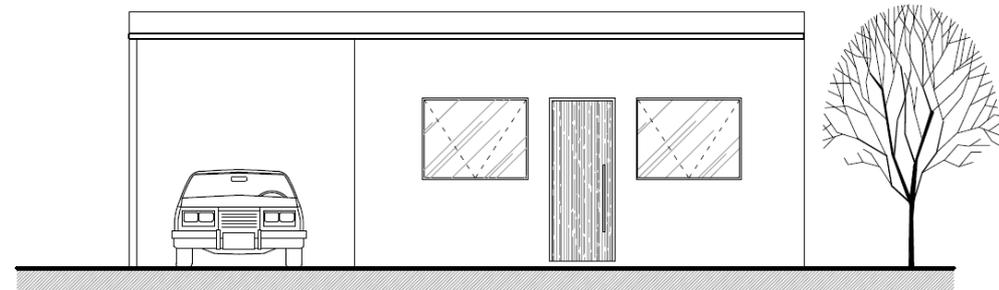


FIG. 55 – Fachada frontal

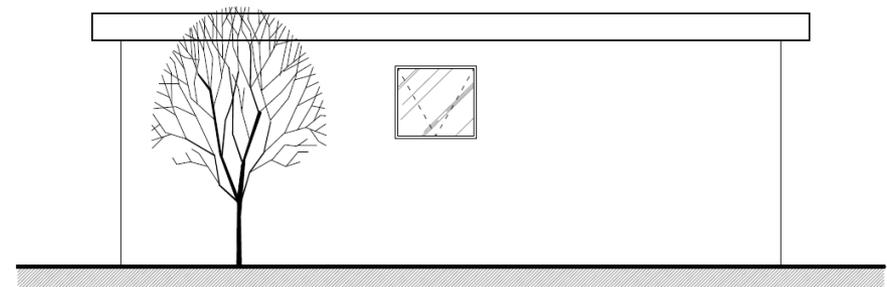


FIG. 56 – Fachada lateral direita

No estudo comparativo foi usado o aço da série USI-SAC da siderúrgica Usiminas, cujo valor apurado foi de R\$ 2,60/kg.

- O modelo proposto apresenta economia e menor consumo de aço.

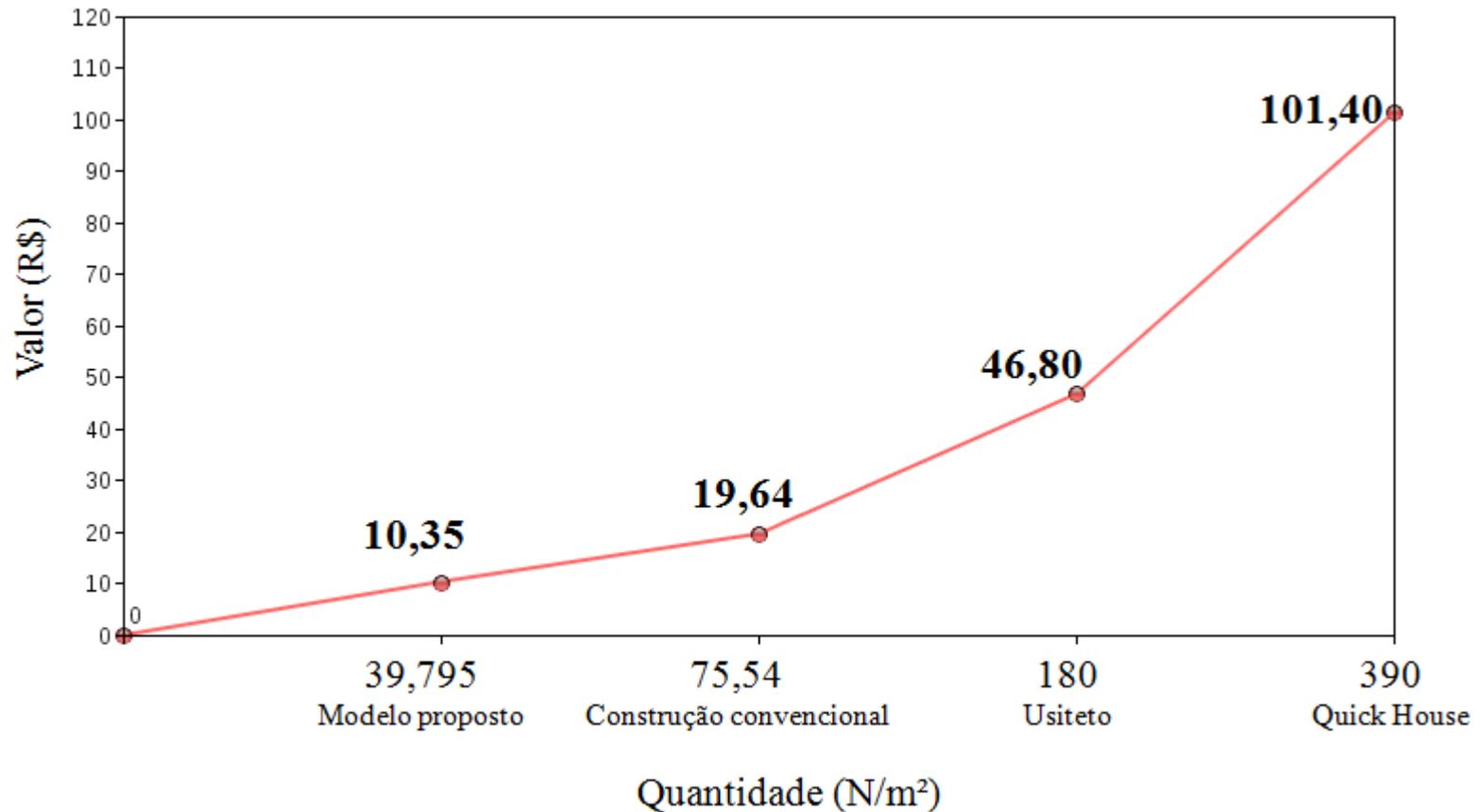


FIG. 57 – Consumo de aço x Custo

Possui ganhos em área comparando com os outros modelos.

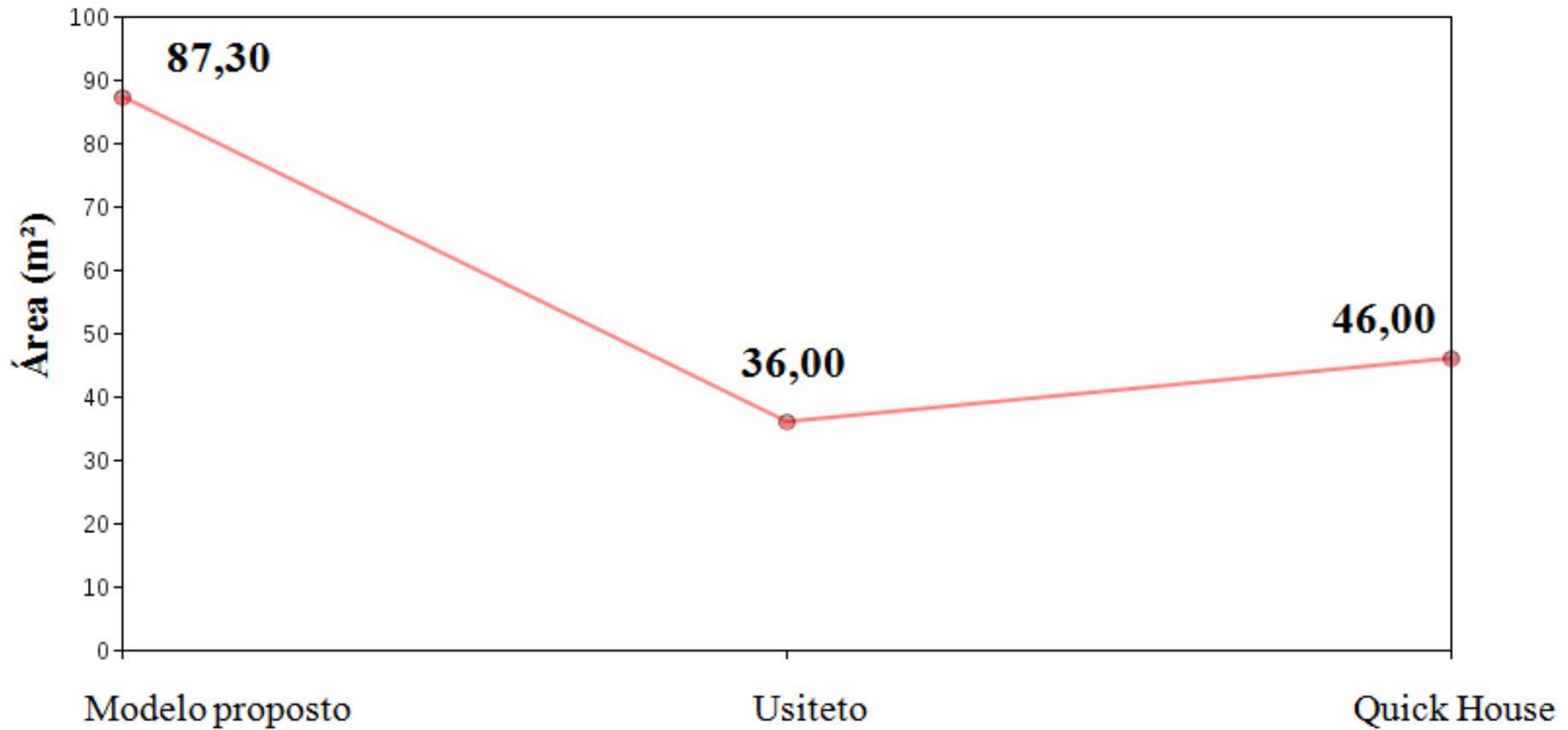


FIG. 58 – Ganhos em área

# 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comparando com a construção convencional apresenta vantagens como:

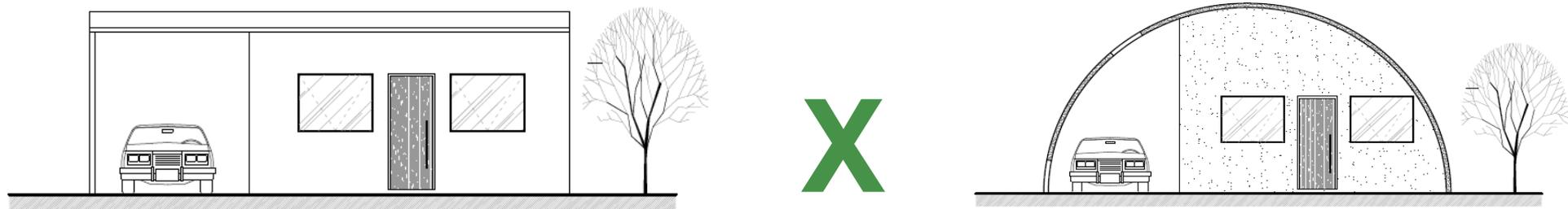


FIG. 59 – Construção convencional e construção proposta

- rapidez e facilidade na execução da obra;
- possibilidade de desmontagem e reutilização em outro local;
- canteiro de obra limpo e com menos entulho;
- racionalização de materiais diminuindo o desperdício;

# 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comparando com a construção convencional apresenta vantagens como:



FIG. 59 – Construção convencional e construção proposta

- sistema estrutural mais eficiente que o convencional, apresentando maior resistência estrutural a fortes ventos e até mesmo a abalos sísmicos;
- economia e menor consumo de aço da estrutura;
- apresenta uma solução de construção com menor impacto ao meio ambiente.

# 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comparando com os modelos Usiteto e Quick House apresenta vantagens como:



X



X

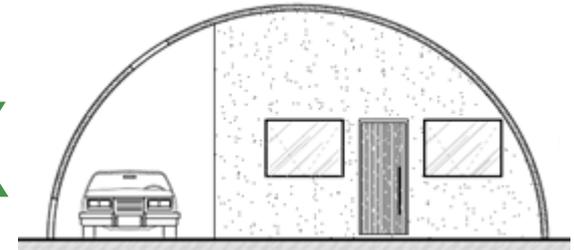


FIG. 60 – Modelos Usiteto, Quick House e construção proposta

- economia e ganhos em área apresentando maior área construída com menor consumo de aço;
- apresenta maior eficiência econômica e estrutural com o uso de pórticos bidirecionais;

# Comparando com os modelos Usiteto e Quick House apresenta vantagens como:



FIG. 61 – Modelo Usiteto

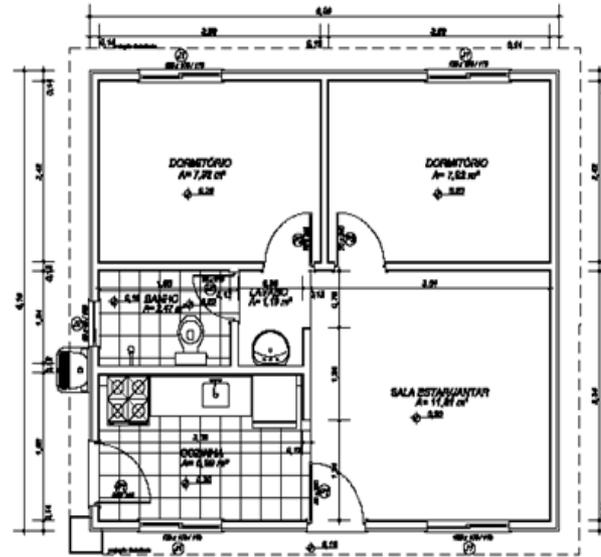


FIG. 62 - Quick House

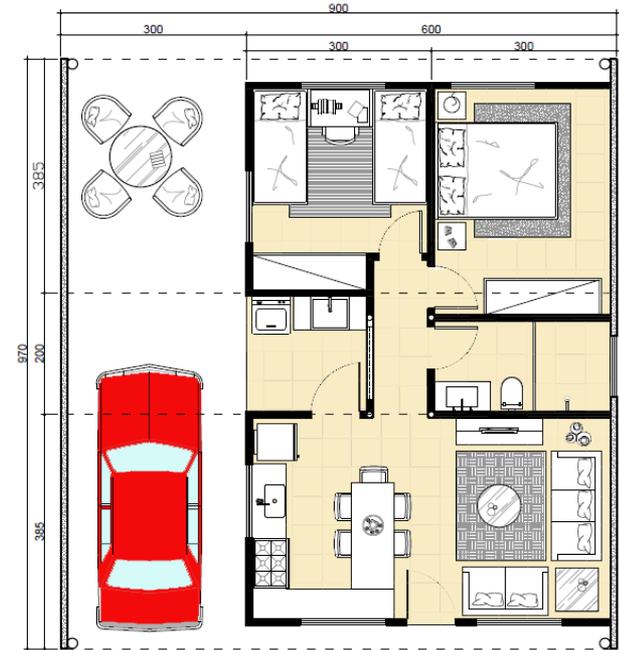


FIG. 63 – Modelo proposto

- apresenta melhor organização espacial dos ambientes com área íntima mais reservada da área social;
- possui área de serviço bem planejada e coberta;
- possui possibilidade de ampliação da casa sem sofrer alterações na sua volumetria;

# Curvamento dos tubos metálicos

- O processo de curvamento é feito a partir de tubos com espessura mínima de 3 mm.
- É possível fazer o curvamento, mas os tubos precisariam ser cortados ao meio.

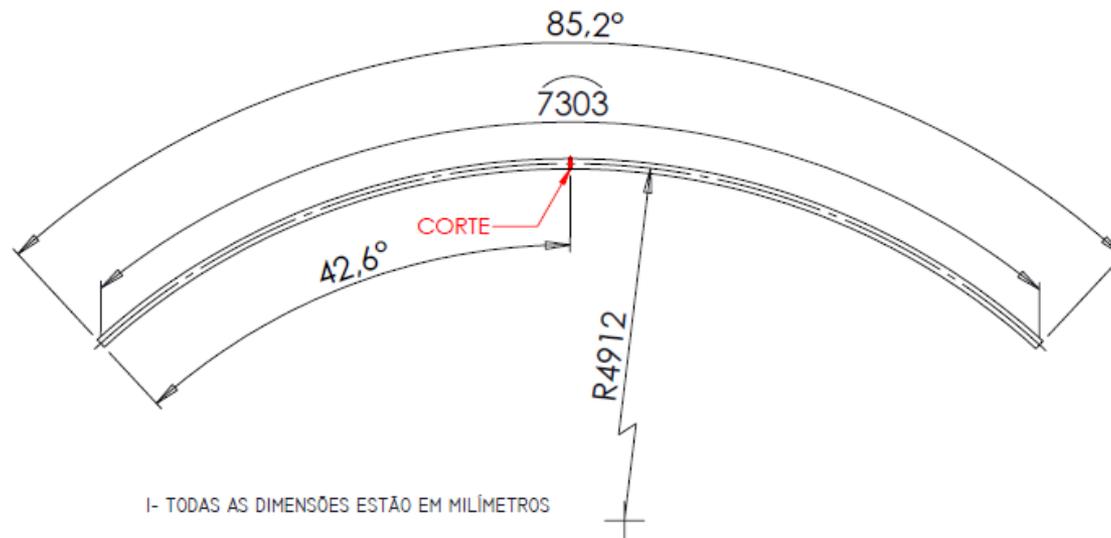


FIG.64 – Indicação do corte a ser feito para o curvamento  
Fonte: PROTUBO, 2011.

# Previsão de custo (R\$24.319,20) para os principais elementos estruturais e de fechamento

Tabela 2 – Valor estimado

Descrição	Quantidade	Valor unitário	Valor total	Fonte
Aço da série USI-SAC para produção dos perfis	347,41 kg (3.9795 kg/m <sup>2</sup> )	R\$ 2,60/kg	R\$ 903,27	USIMINAS (2011)
Produção dos perfis	8 tubos	R\$0,35/kg	R\$ 121,59	TUBONAL (2011)
Curvamento dos perfis	16 tubos	R\$ 31,50	R\$540,00	PROTUBO (2011)
Cobertura metálica (termo-acústica)	120,67 m <sup>2</sup>	R\$ 30,00/m <sup>2</sup>	R\$ 3.620,10	BRASILIT (2011)
Telha translúcida	8 telhas (1,10 x 1,22 m)	R\$ 28,78	R\$ 230,24	TELHA NORTE (2011)
Forro de painéis de OSB	4 painéis (2,44 x 1,22 m)	R\$ 43,00	R\$ 172,00	LP Brasil (2011)
<i>Light Steel Framing</i> (paredes internas e externas)	53,52 m <sup>2</sup> (área útil)	R\$ 350,00/m <sup>2</sup>	R\$ 18.732,00	FLASAN (2011)
<b>Valor total estimado = R\$ 24.319,20</b>				

# 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

## 6.1 Conclusão

- Pode-se concluir que o modelo proposto apresenta:
  - ❖ viabilidade quanto à produção;
  - ❖ facilidade e rapidez de execução;
  - ❖ modelação simplificada, redução de ligações da estrutura;
  - ❖ eficiência estrutural e menor consumo de aço da estrutura, além de estar dentro dos conceitos de sustentabilidade.
- Seria uma boa solução em caso de reconstrução de regiões que foram devastadas por terremotos, furacões e chuvas fortes, como: Haiti, Chile e cidades da região serrana do RJ.

Agradeço a todos pela atenção!