

2º ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO  
EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO

2º ENP  
Produção  
Projeto  
Pesquisa CPM

SÃO CARLOS - SP / BRASIL

03/04 DE NOVEMBRO DE 2009

# Sistema de apoio à tomada de decisão (SATD): Otimização via algoritmos genéticos utilizada como ferramenta de apoio ao desenvolvimento de projetos estruturais

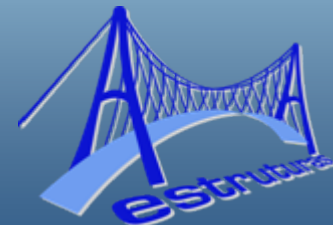
Prof. Augusto T. de Albuquerque (UFC)

Prof. Mounir K. El Debs (EESC-USP)

Prof. Antônio Macário C. de Melo (UFC)



ASSOCIAÇÃO CEARENSE DE  
ENGENHARIA ESTRUTURAL



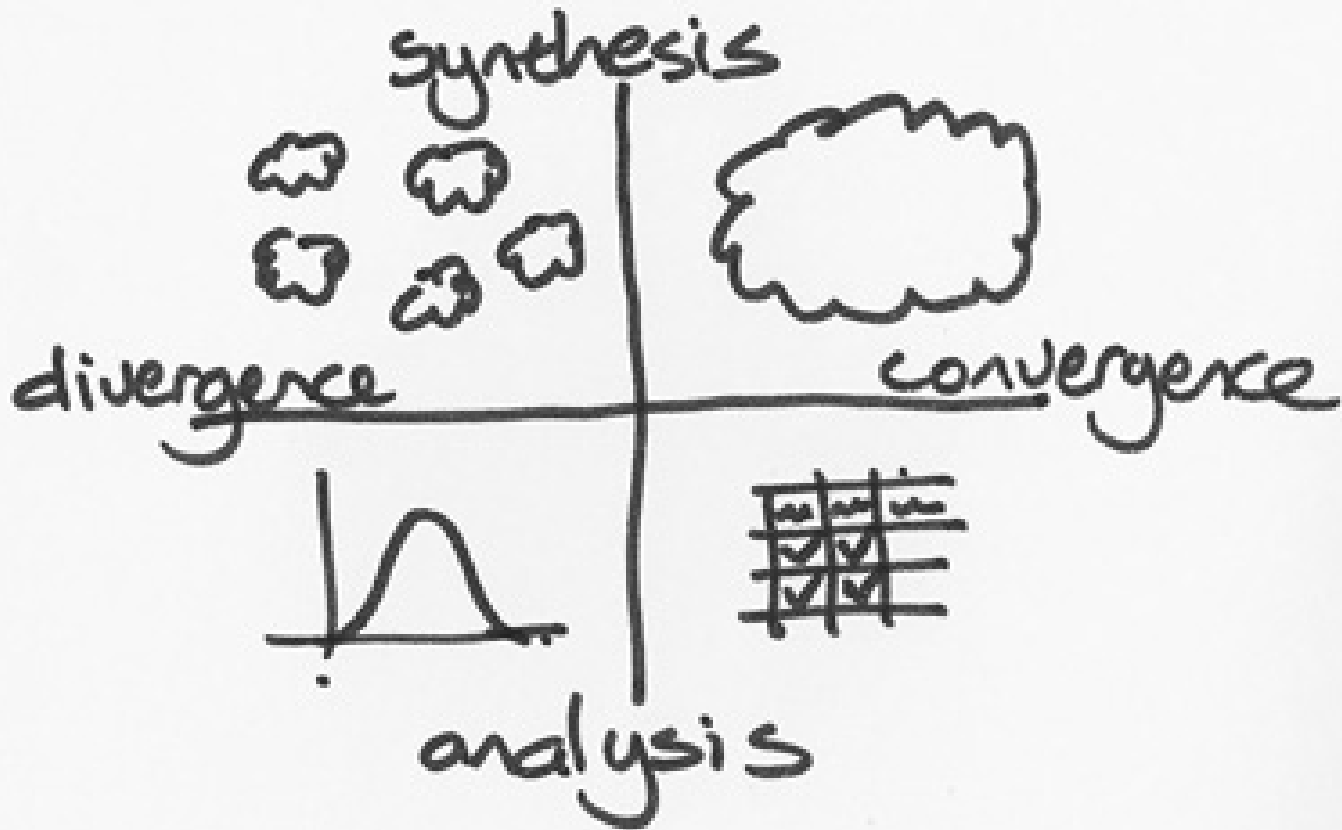
# 1 – Introdução

- a) Muitas pesquisas têm lidado com a aplicação de técnicas de otimização ao projeto de estruturas de concreto pré-moldado:
  - ✓ Moduladas
  - ✓ Padronizadas
  - ✓ Feitas em Linha de Produção
  
- b) Dentre várias técnicas → AG's excelente ferramenta:
  - ✓ Múltiplas boas soluções
  - ✓ Fácil implementação
  - ✓ Habilidade em eliminar ótimo local

## 2 – Algoritmos Genético

- a) Método heurístico baseado na Teoria da Evolução;
- b) Indivíduos da população → Potenciais soluções;
- c) Aptidão → Função Objetivo (Custo);
- d) Penalidades → Verificações Finais e Transitórias;
- e) Melhores indivíduos → Continuam no processo (seleção, cruzamento e mutação).

# AG → Princípio Inovação



J. A. B. Teixeira  
"Design Thinking"

# 3 – Motivação

Processo Tradicional → Análise técnica e econômica de várias alternativas (estudos preliminares):

- ✓ Tempo
- ✓ Dificuldade de apropriar custos (equipe multidisciplinar: projetista, fabricante e montador)

# 4 – Sistema de Apoio à Tomada de Decisão (SATD)

- a) Busca configuração estrutural de edifícios de múltiplos pavimentos com planta retangular, com estrutura de concreto pré-moldado, utilizando-se a técnica dos AG's;
  
- b) Otimização integrada do projeto estrutural → Concepção + Detalhamento + Fabricação + Montagem → Relação entre as etapas;

## 4 – SATD (Continuação)

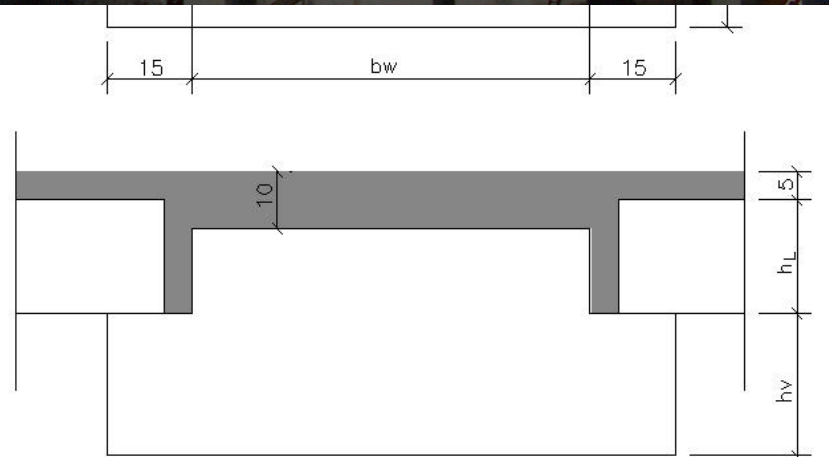
- c) Ferramenta de suporte ao projetista que já contempla as particularidades da indústria para a real apropriação de custos → Comparações baseadas em custos mais representativos;
- d) Paradigma modificação → projeto produzido a partir da combinação de espaço de busca conhecido, por meio de geração aleatória (ALTSHULLER, “Criatividade em problemas de Engenharia”);

# 5 – Sistema Estrutural adotado

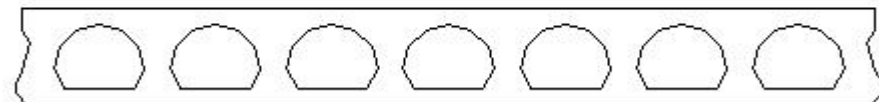


- 1º. ENPPP
  - Pesquisa ATLSS
  - Levantamento Brasil
- 
- Capa de concreto em todo o pavimento;
  - Estrutura modulada;
  - Independe de escadas e elevadores;
  - Instalações independentes do pavimento;
  - Pilares → maneira simplificada;
  - Fundações desconsideradas.

Produtos T&A

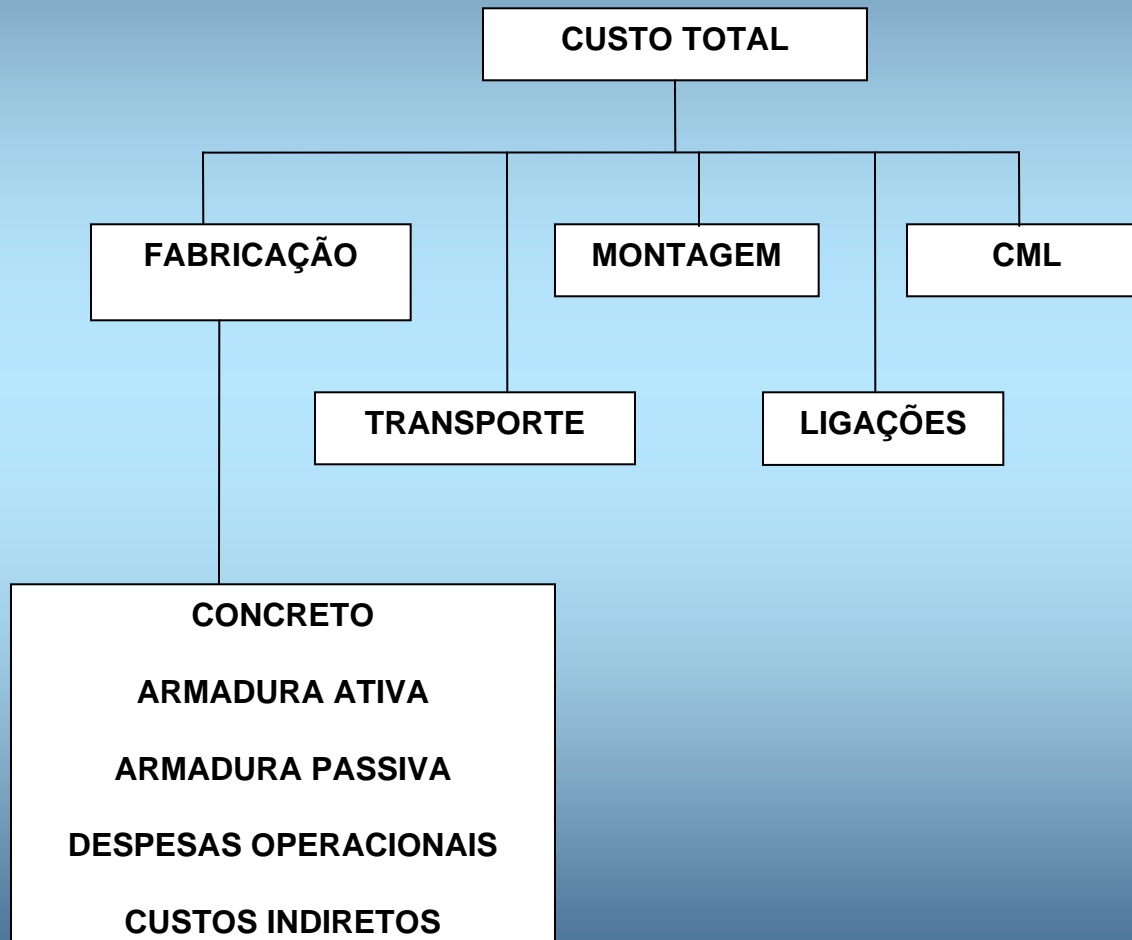


LAJE DE 13cm  
CONSUMO: 0,0880 m<sup>3</sup>/m

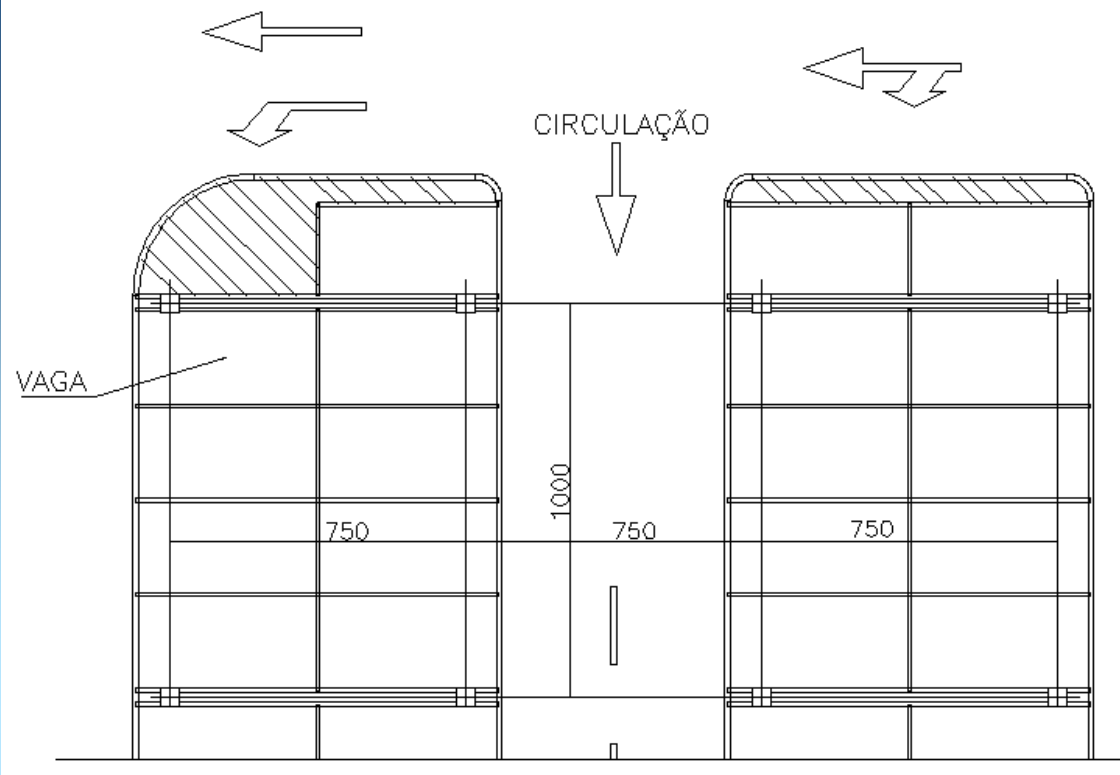




# 6 – Função Custo

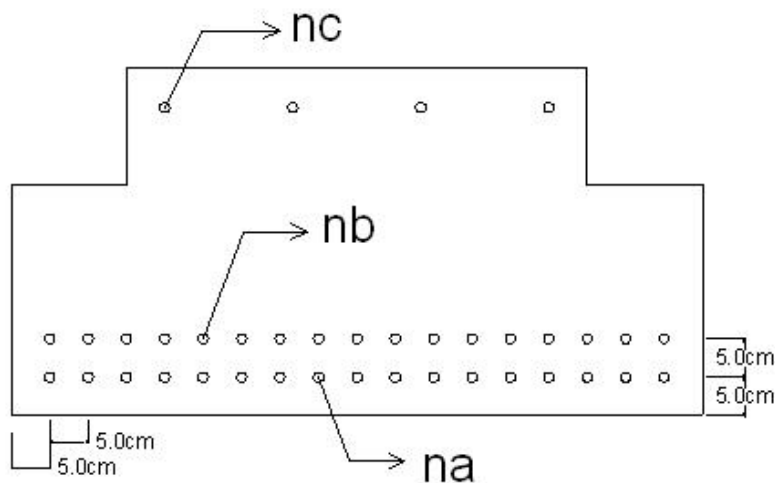
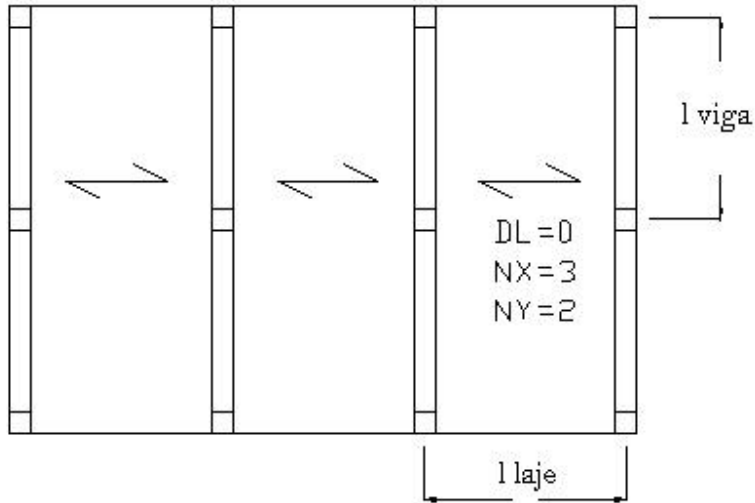


# 7 – Dados Entrada



- a) Dimensões pavimento;
- b) Número de pavimentos;
- c) Restrições Arquitetônicas:
  - Distância mínima entre apoios (Direções X e Y);
  - Altura máxima do pavimento e largura máxima da viga;
- d) Carregamentos;

# 8 – Resultados

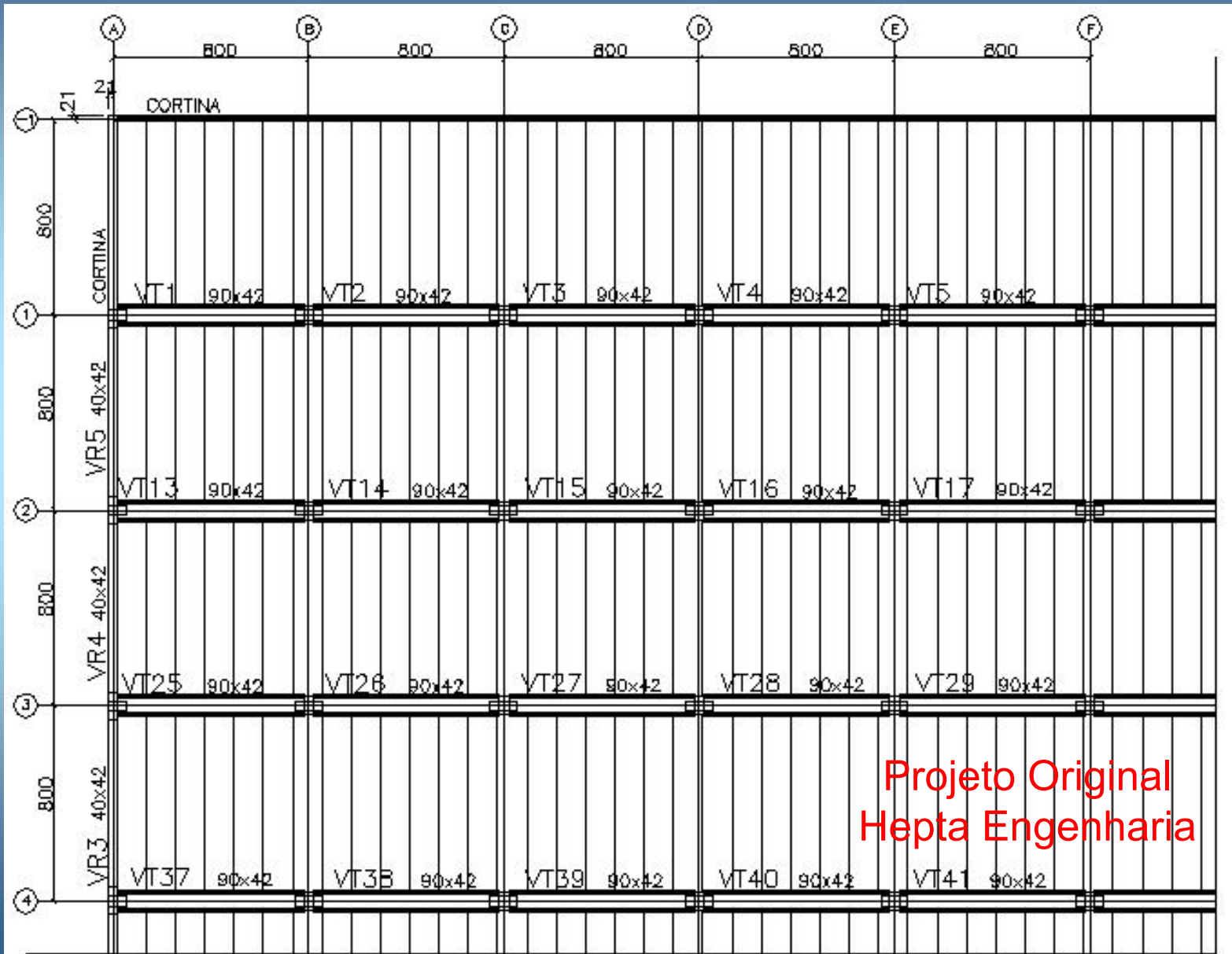


- Configuração estrutural;
- Dimensionamento e detalhamento das vigas e lajes;
- Resistências dos concretos (*c<sub>pm</sub>* e *c<sub>ml</sub>*);

# 9 - Exemplo: Edifício Comercial Carvalho

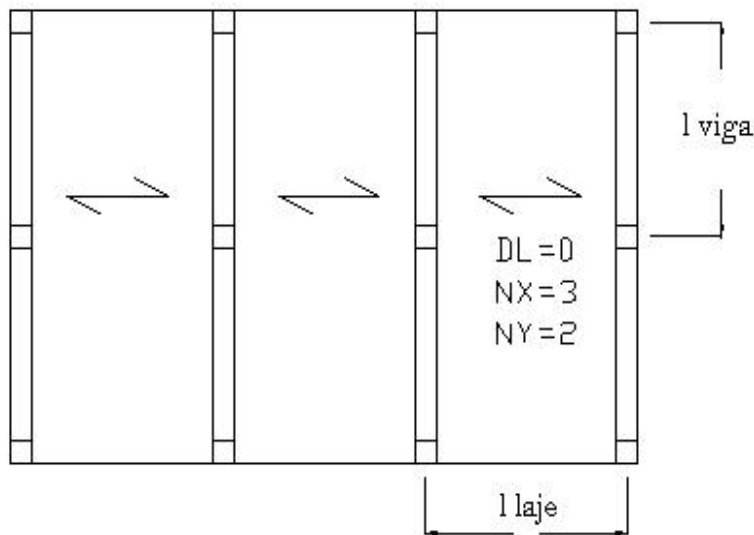
- Edifício comercial com 3 pavimentos;
- Construído em Teresina-PI;
- $\ell_x=96,0$  m e  $\ell_y=56,0$  m;
- $Q=7,5$  kN/m<sup>2</sup> ;
- Modulação livre de 8,0 m (Arq);
- Altura máxima pavimento 45 cm (Arq).

# Forma parcial Ed. Comercial Carvalho

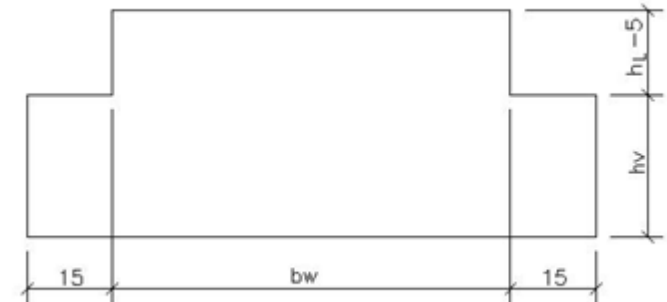


# Resultados SATD para o Comercial Carvalho

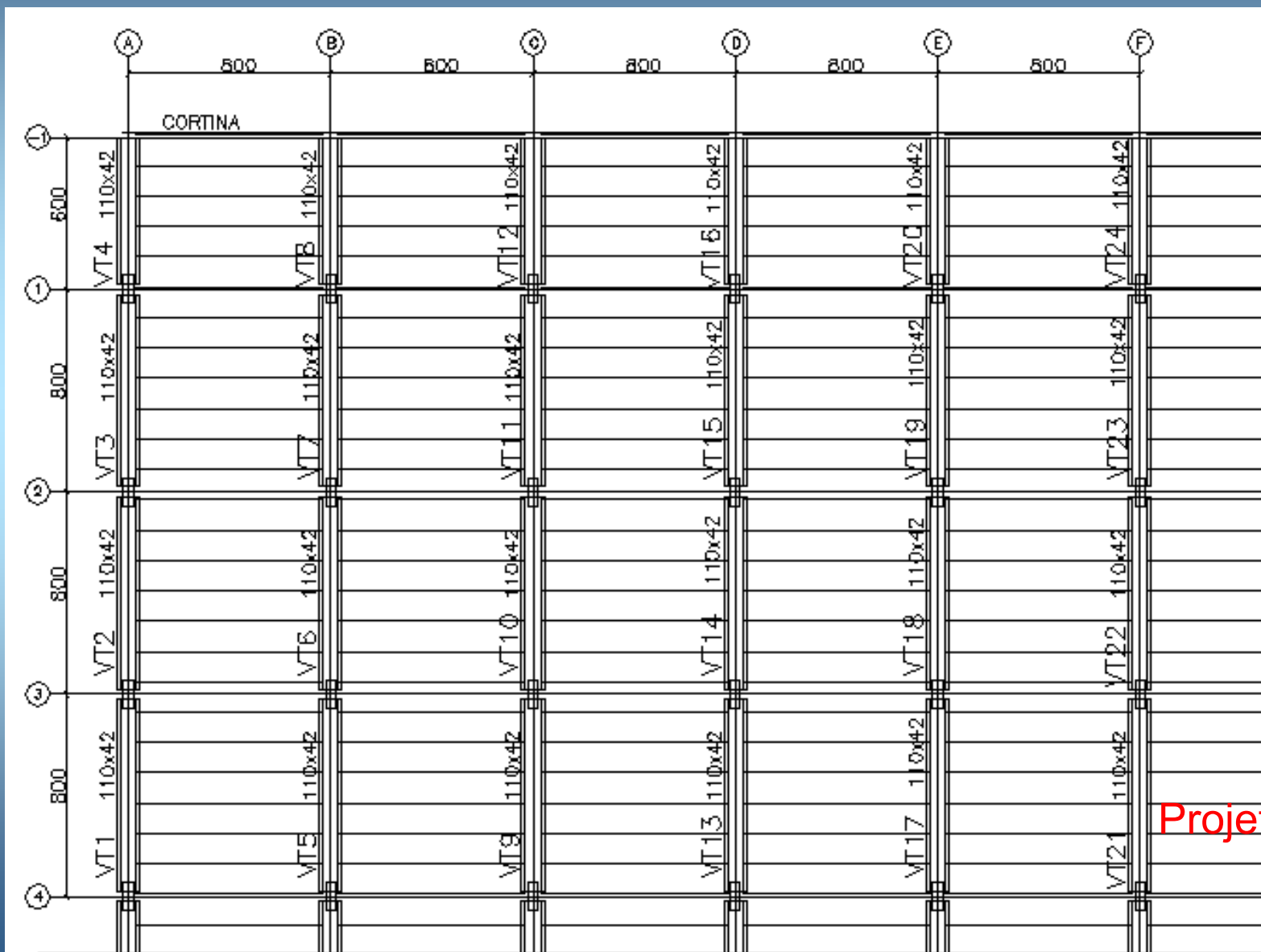
Dados	(1)	(2)	(3)	Projeto
Configuração ( $N_x/N_y/DL$ )	12/7/0	<b>12/7/1</b>	12/7/0	<b>12/7/1</b>
$f_{ckml}$	20	<b>35</b>	25	<b>25</b>
$f_{ckpm}$	40	<b>40</b>	45	<b>40</b>
$h_l$	20	<b>20</b>	17	<b>17</b>
$h_v$	20	<b>20</b>	20	<b>20</b>
$b_w$	90	<b>80</b>	80	<b>60</b>
Custo (R\$/m <sup>2</sup> )	208,7	<b>208,3</b>	204,2	<b>205,4*</b>
$\Delta^{**}(\%)$	(+1,6%)	<b>(+1,4%)</b>	(-0,06%)	<b>(1)</b>



- 2 Configurações distintas
- 3 alternativas mesmo custo



# Configuração estrutural alternativas 1 e 3



Projeto SATD

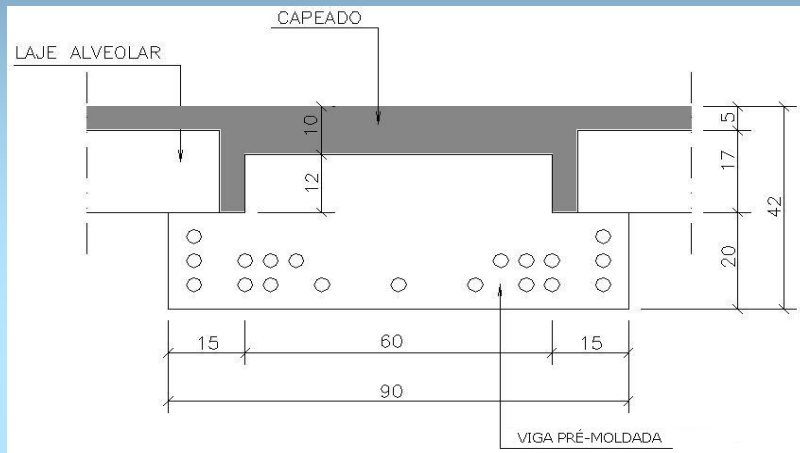
## Comentários alternativa 3

- Orientação contrária ao projeto → possui menos vigas, que são mais caras → Quantidade vigas 96 ~ 91, lajes e pilares = 's;
- Adotou a mesma laje  $h_l=17\text{cm}$ ;
- Adotou viga similar ao Projeto original;
- Os resultados do SATD foram obtidos de processamentos completamente automatizados e otimizados.

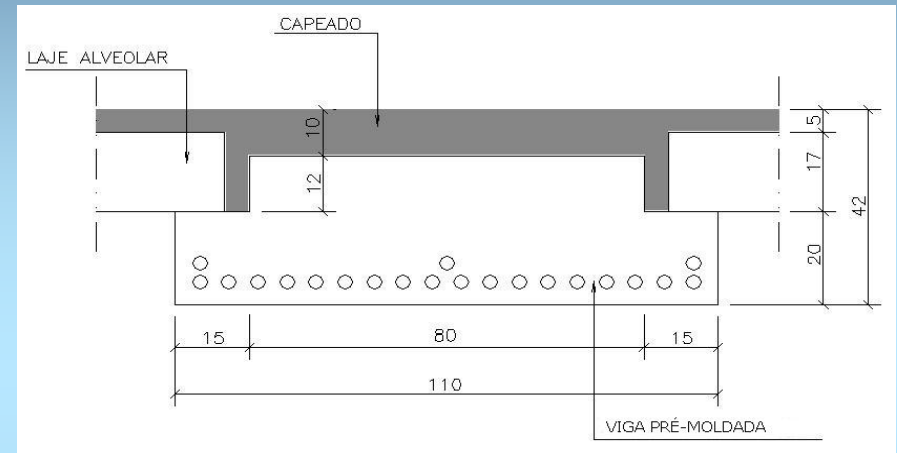


# Detalhes das vigas

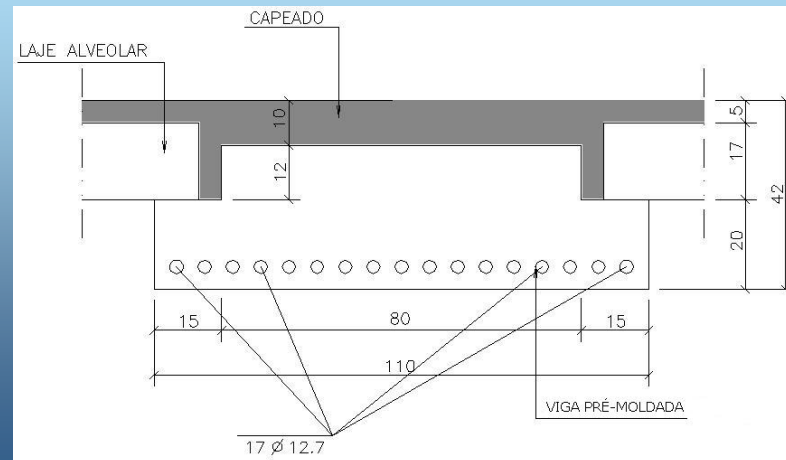
## Projeto Original



## SATD (3)



## Pré-Projeto



# Outros processamentos (Análise Sensibilidade)

- a) Diferenças entre custos do concreto alteradas → Utilização de concretos melhores não proporcionaria vantagens econômicas;
- b) Altura máxima ampliada → Indicou vigas mais altas, porém custos similares;
- c) Custo transporte alterado → surgimento de nova configuração estrutural;
- d) Vãos mínimos reduzidos 5,0 m → Maior variabilidade das alternativas e alternativas não atingem o vão mínimo permitido;
- e) Vãos mínimos ampliados 10,0 m → aumento no custo médio de 26,5 %.

# 10 – Variantes do SATD

- a) SATDL (Local) : A configuração estrutural passa a ser um dado de entrada → melhorar resultados do SATD;
- b) SATDR (Restrito) : Permite a indicação de alinhamentos pré-determinados em que serão inseridos os pilares e as vigas → lajes com vãos distintos.

# 11 – Considerações finais e conclusões

- a) Conseguiu reproduzir, automaticamente, uma alternativa muito próxima à adotada pelo projeto original, além de outras opções com mesmo custo → Vários Exemplos;
- b) Resultados fornecem subsídios para facilitar a tomada de decisão → Tenta-se eliminar a etapa inicial e deixar os projetistas com mais tempo para análise e detalhamento;
- c) O SATD pode auxiliar também arquitetos e fabricantes → Fases Iniciais.

# Agradecimentos

CNPQ

CAPES

FUNCAP

T&A