

# FABRICAÇÃO DIGITAL DE FORMAS DE CONCRETO: UM EXERCÍCIO DE PROJETO

Danilo Higa da Rocha danilopontohiga@gmail.com  
Profª Dra. Maria Gabriela Caffarena Celani celani@fec.unicamp.br

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - FEC - Unicamp

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP

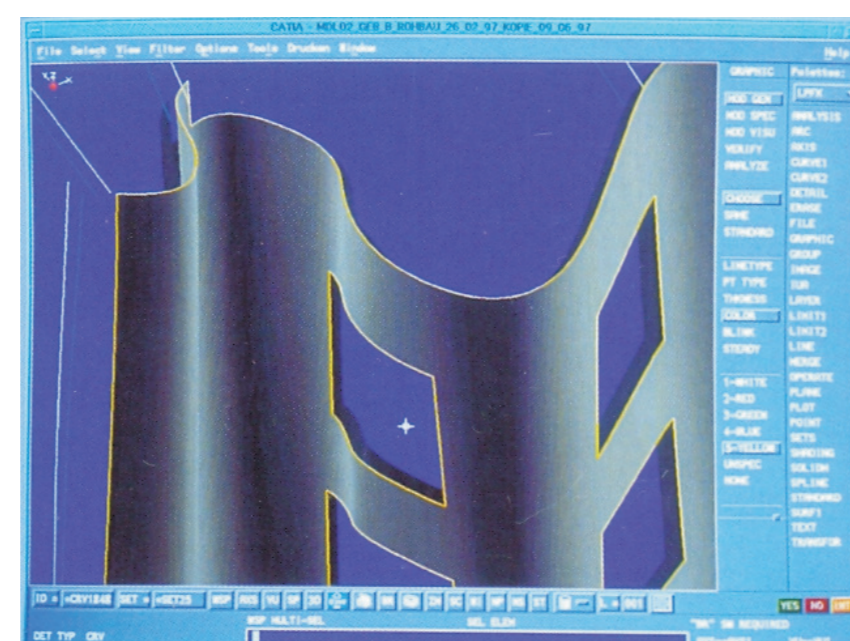
Palavras-chave: Prototipagem Rápida; Fabricação Digital; Formas para concreto.



Em termos de evolução tecnológica e satisfação das expectativas do usuário final, a construção está décadas atrás das indústrias automobilísticas, navais e aeroespaciais. Os princípios fundamentais da construção continuam os mesmos de centenas de anos atrás, os romanos inventaram o concreto por volta de 100 Antes de Cristo e ainda o usamos como matéria prima principal e assentamos os blocos manualmente.

Já existe um ou outro campo de aplicação de técnicas automatizadas como o uso de máquinas de controle numérico para corte de materiais cerâmicos e isso já vem mostrando rentabilidade, mas a fabricação digital de elementos construtivos ainda não é muito desenvolvida no Brasil. Por outro lado, o ensino superior de Engenharia Civil ainda não prepara o aluno para criar os modelos 3D necessários. Para isso faz se necessária uma pesquisa de experimentação de uma máquina fresadora CNC.

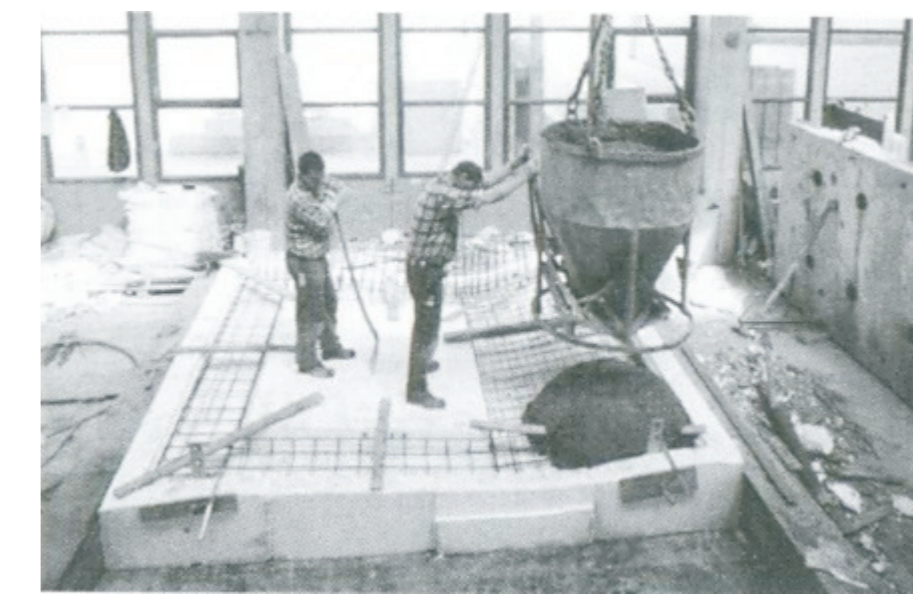
Exemplo de aplicação da Fabricação Digital nas Zolhof Towers (Gehry, 2001)



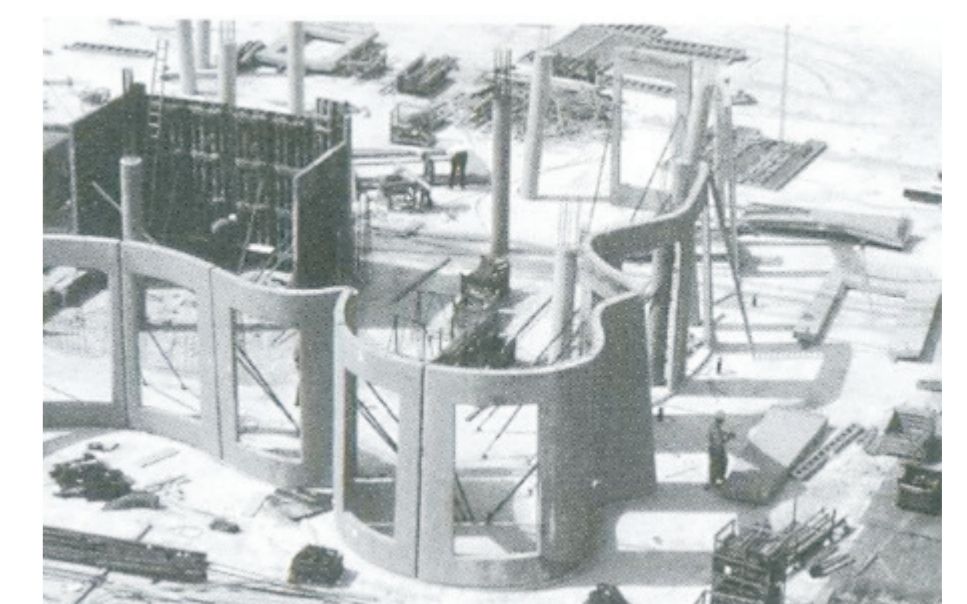
Definição da geometria em arquivo CAD



Usinagem na CNC através do arquivo CAD



Utilização da fôrma usinada

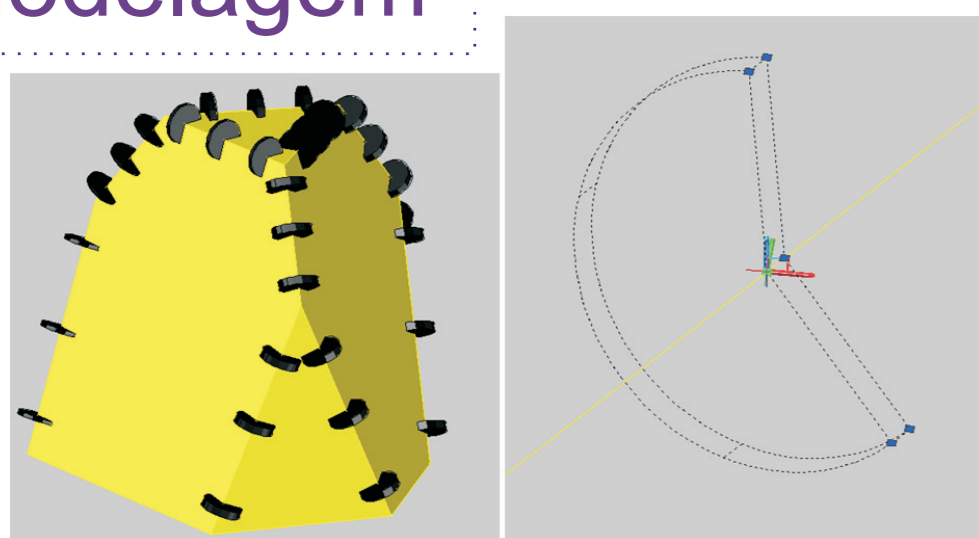


Produto final com medidas idênticas ao arquivo CAD inicial

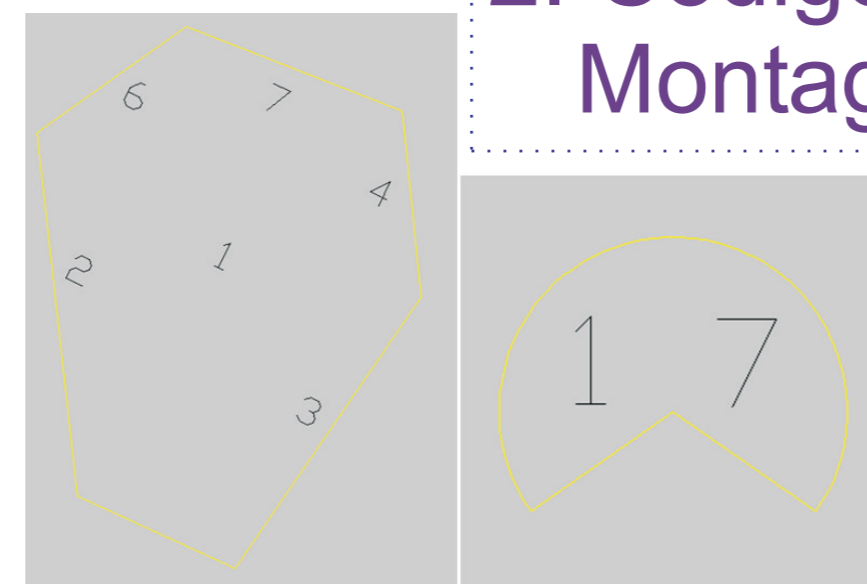
## Metodologia

O objetivo central deste trabalho foi estudar a produção de fôrmas para concreto com formas complexas diretamente a partir de modelos geométricos digitais, com o uso de técnicas de fabricação digital. Para isso fez-se um exercício de produção com uma escultura de concreto.

### 1. Modelagem



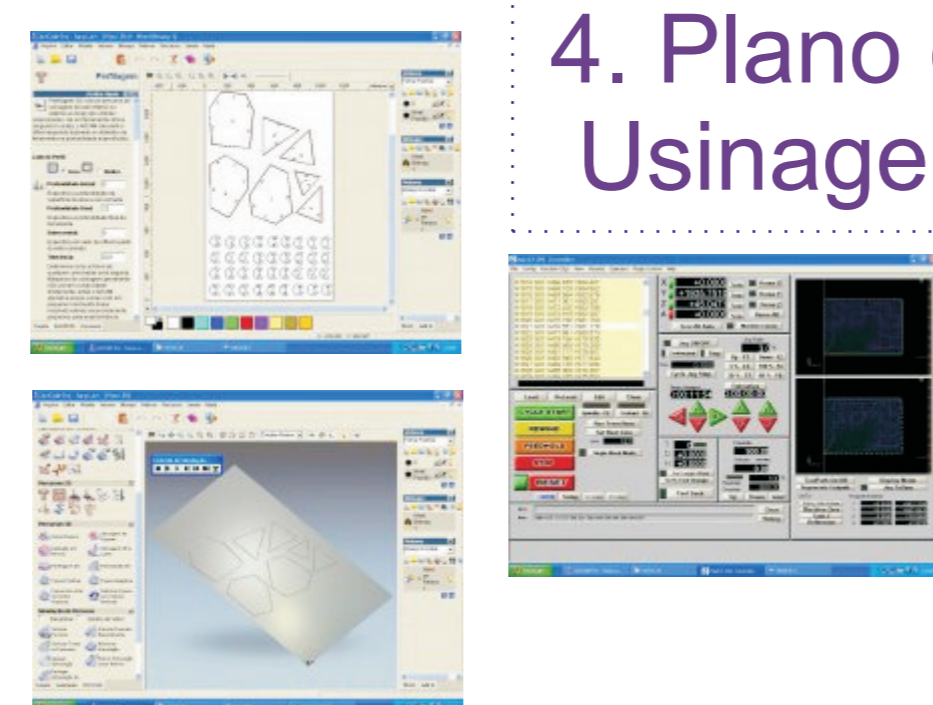
### 2. Código para Montagem



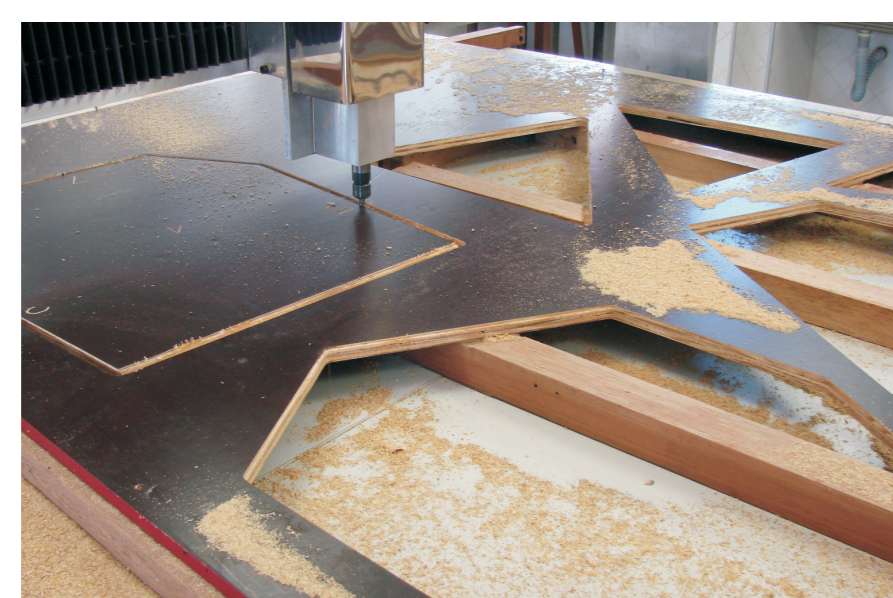
### 3. Mock up



### 4. Plano de Usinagem



### 5. Montagem da Fôrma



### 6. Concretagem

## Discussão

O resultado final foi dado como excelente, principalmente pela ausência de bicheiras no concreto.

Destacam-se as principais dificuldades:

- Adaptação ao software artCAM (que gera do g-code) e ao mach 3 (que faz a interação com a máquina);
- Falta de fornecedor de material de reposição ou de manutenção da máquina CNC;
- Adaptação ao uso da máquina CNC;
- Falta de suporte para utilização da máquina CNC.

## Conclusões

As vantagens que a literatura já mostrava com relação a Fabricação Digital foram mais que comprovadas neste trabalho.

O conceito file-to-factory foi extremamente usado neste estudo. Não houve desenho impresso das fôrmas. Não houve nenhuma forma intermediária entre o projeto no software CAD e a fabricação final. O mesmo arquivo que o sólido foi projetado e planificado foi aberto no artCAM, que gerou o G-code lido e passado para a CNC pelo Mach 3. Portanto não houve perda de dados. Cada ângulo de cada gabarito estava correto. Não houve erro no corte das fôrmas. Se isso fosse aplicado em larga escala, a precisão oferecida pela CNC garantiria uma economia imensa de tempo e dinheiro. As noções de cronograma teriam que ser repensadas. Além disso, sem a fabricação digital não seria possível executar a fôrma.

Ainda restam coisas a serem pesquisadas e trabalhadas: como treinar e capacitar equipes para a fabricação digital? Como estimar o custo e o impacto financeiro na obra? Como dimensionar a mão de obra da fabricação digital? Como fazer a estrutura de fôrma de madeiras para formas não ortogonais?