

# CAD 3D - CSG

## Métodos de Modelagem

Foley 1996:cap 12

Prof Marcelo Hounsell, PhD  
Prof Roberto Rosso, PhD (Revisão)

DCC/UDESC



# Modelagem Sólida

## Métodos de **Criação** de Objetos

- Operações Booleanas Regularizadas



# Operações Booleanas

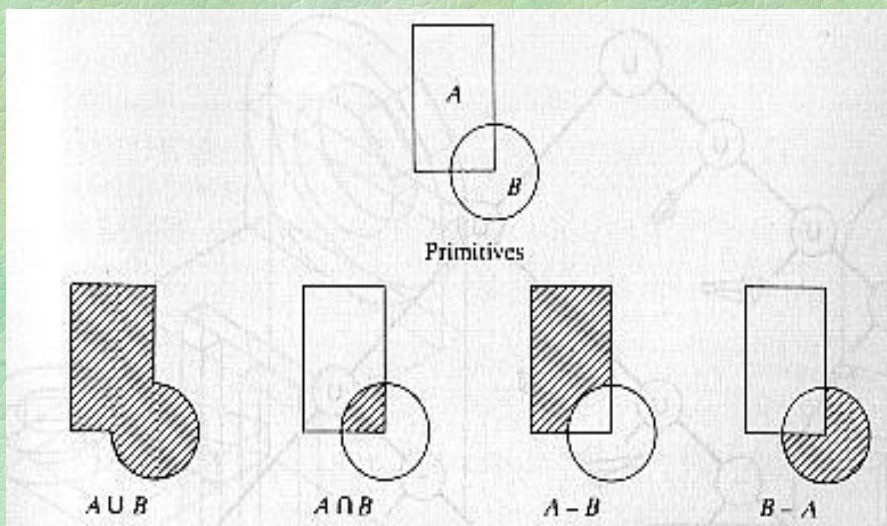
## Operadores Booleanos

- Operações Booleanas são a composição de “objetos primitivos” usando-se as funções de União, Intersecção e Diferença para obter-se formas mais complexas
- Operações Booleanas
  - 2D – Diagramas de *Venn*
  - 3D

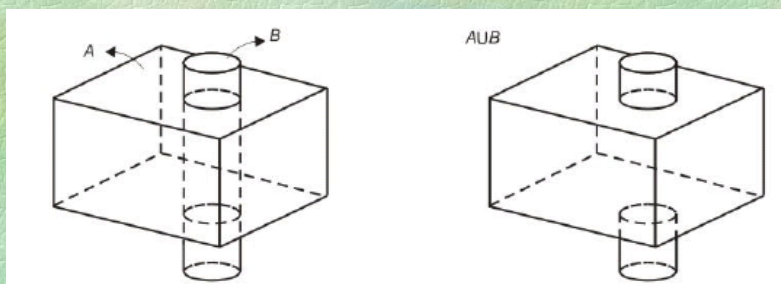


## Operações Booleanas (2D)

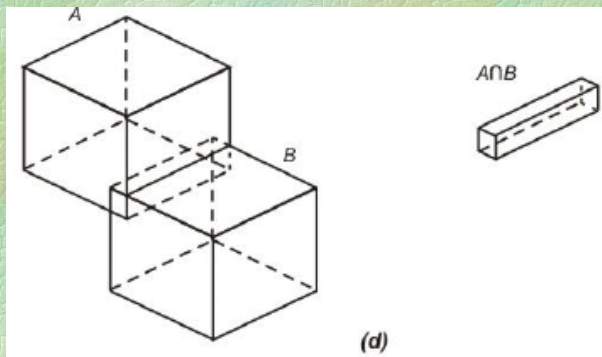
### *Diagramas de Venn*



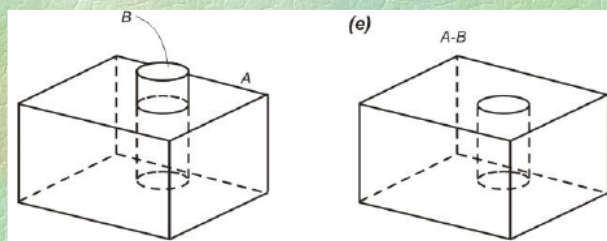
## União 3D



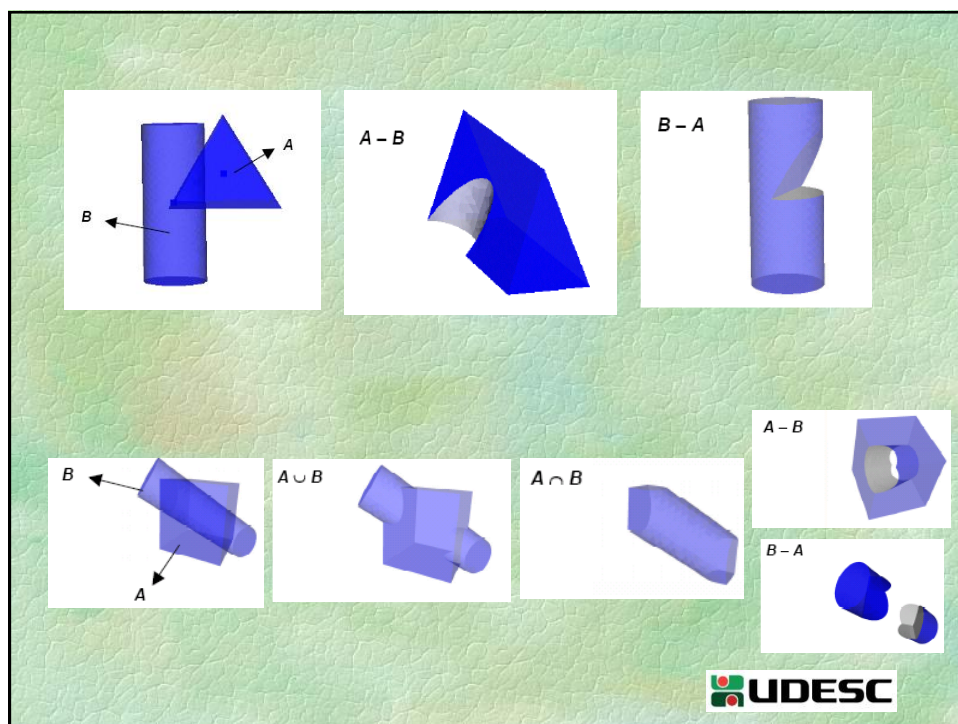
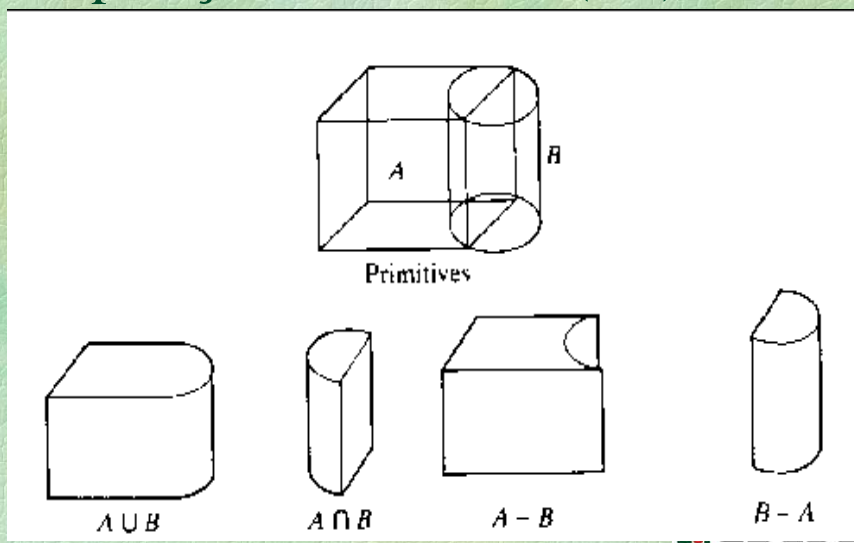
## Interseção 3D



## Diferença 3D



# Operações Booleanas (3D) (Zeid:343)





## Operadores Booleanos

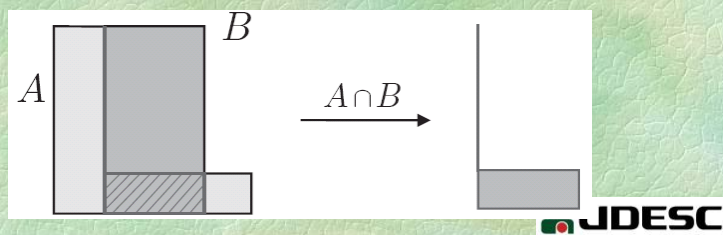
- As Operações de União e Interseção são comutativas mas a Diferença **NÃO**
- Os objetos primitivos não são aproximações e sim definições precisas dos mesmos (para primitivas analítica)
- É um método bastante compacto e intuitivo
- Lento para questões de visualização e colorização



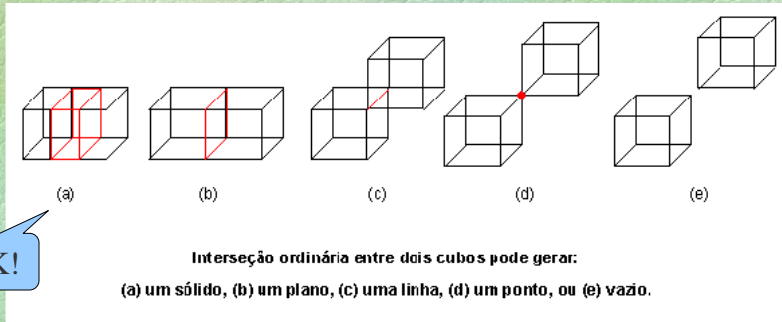
## Problemas com as Operações Booleanas (2D)

Não tem **closure**: nem sempre a Operação Booleana ordinária/convencional/canônica/completa leva a um resultado válido, principalmente se consideramos Sólidos, identificados pela composição dos limites mais o interior

***Solid = Boundary + Interior***



## Problemas com as Operações Booleanas Canônicas (3D)



OK!

## Operações Booleanas Regularizadas

(Foley 1996: seção 12.2)

São operações booleanas em sólidos válidos que *garantidamente* geram objetos sólidos válidos (garante *closure*!)

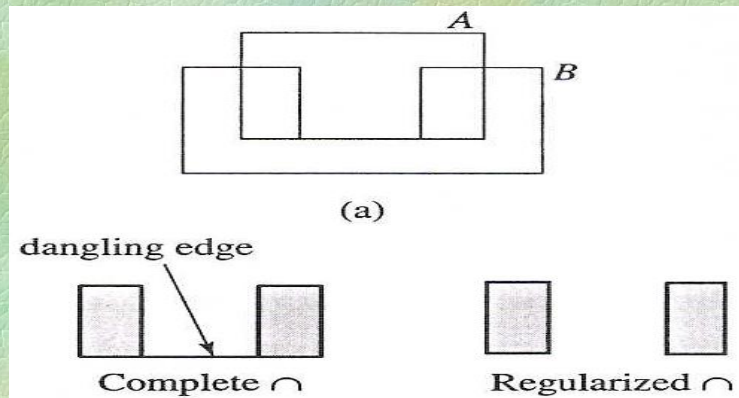
$U^*$  = união regularizada

$-^*$  = diferença regularizada

$\cap^*$  = interseção regularizada



## Operações Booleanas Regularizadas em 2D



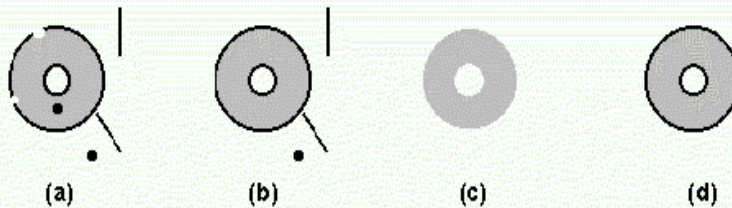
## Objeto Regularizado

- Um objeto regularizado, resultante de uma operação booleana regularizada, é aquele que não tem heterogeneia dimensional (*no dangling parts*)
  - isto significa que todo seu interior é definido por limites fechados e;
  - todo limite contorna uma parte do interior



## Regularizando Conceitualmente um Objeto ....

(Foley 2000:536)



Regularizando um objeto. (a) Objeto qualquer é definido pelos pontos do interior (em cinza), pontos de contorno que fazem parte do objeto (em preto) e outros pontos (em cinza escuro). (b) Fechamento do objeto: todos os pontos de contorno passam a fazer parte do objeto. (c) Interior do objeto: retira-se todos os pontos de contorno. (d) Regularização do objeto é o fechamento de seu interior.



## Regularização (Zeid91:sec 7.5.2)

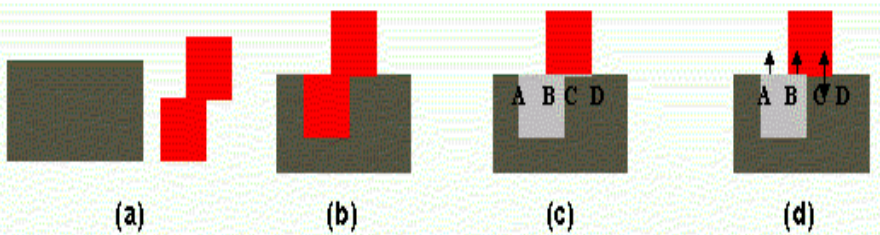
$$A_{\text{op}}^* B = \text{closure} (\text{interior} (A_{\text{op}} B))$$

Um objeto regularizado não pode ter um limite (*boundary*) que não é adjacente a um interior (*dangling elements*)



## Exemplo de Regularização

(Sólido = Interior + Contorno)



Interseção booleana. (a) Dois objetos mostrados em corte. (b) Posição em que os objetos serão interceptados. (c) Interseção ordinária resulta em uma face flutuante, representada pelo segmento CD. (d) Interseção regularizada inclui o segmento AB resultante do contorno de ambos objetos porque eles estão do mesmo lado, isto é, a normal de ambos têm o mesmo sentido, e exclui o segmento CD por estarem em lados opostos. Interseções de contornos e interiores são sempre incluídos BC.

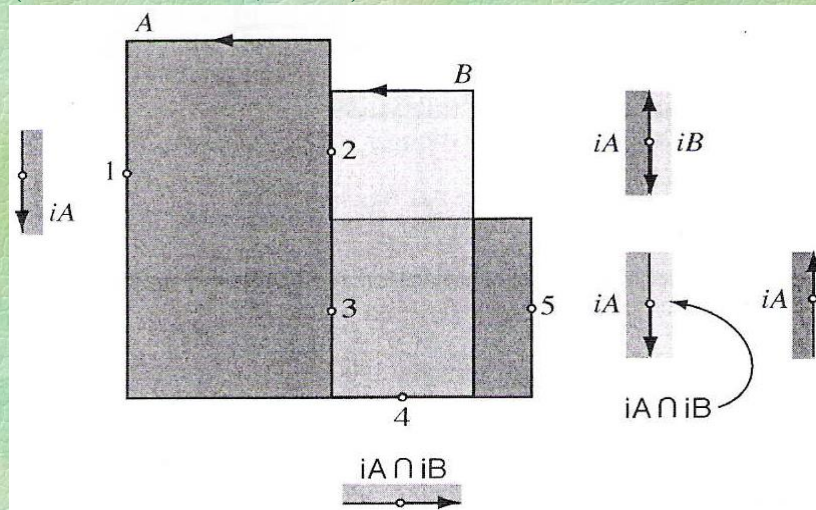
## Tratamento dos Contornos (limites)

- Faces com (interior de) objetos dos dois lados devem desaparecer
- Faces com (interior de) um dos objetos de um dos dois lados devem aparecer



## Analizando uma UNIÃO (1/2)

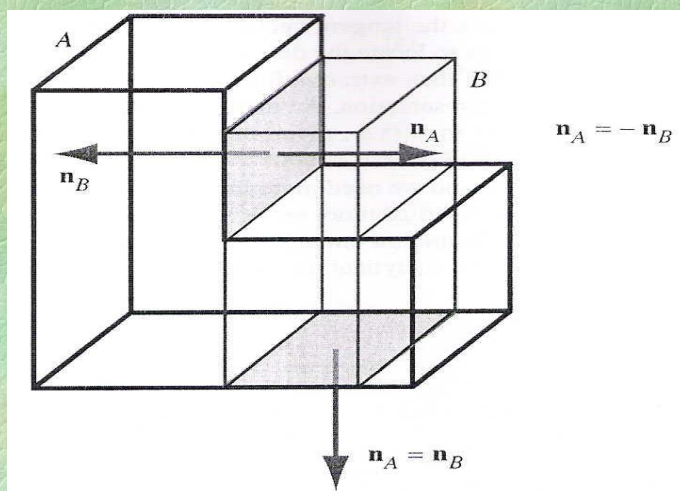
(Considere  $A = L$ ;  $B = i$ )



## Analizando uma UNIÃO (2/2)

- Situação 1 e 5
  - Tem **UM** objeto de **UM** lado do limite
- Situação 2
  - Tem pelo menos **UM** objeto de **AMBOS** os lados
- Situação 3
  - Tem **AMBOS** os objetos de **AMBOS** os lados
- Situação 4
  - Tem **AMBOS** objetos de **UM** lado do limite

## Interior em sólido é dado pela Normal



ESC

## Operação Booleana Regularizada sobre Sólidos

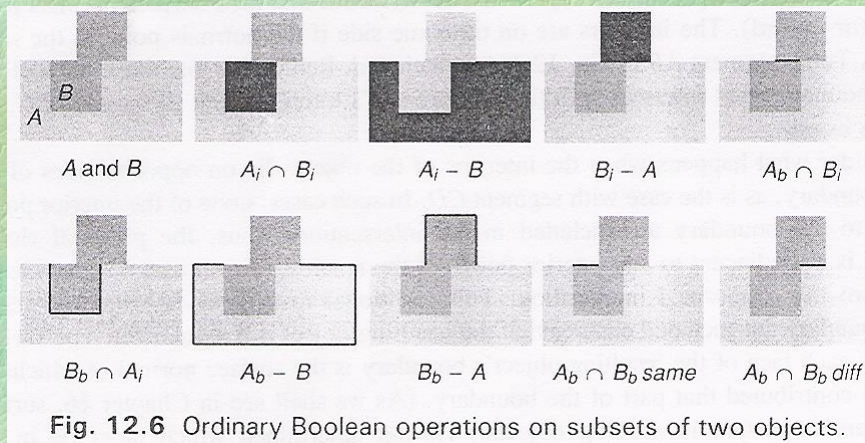
Uma **Operação Booleana Regularizada** pode ser calculada pela união dos resultados das **Operações Booleanas Canônicas** “apropriadas”, aplicadas ao **interior** e ao **contorno (boundary)**

UDESC



## Operações Booleanas sobre Interior e Contornos

(Foley 2002:538)



Quais destes resultados (parciais) devem ser considerados para se obter a “diferença regularizada” ( $A - * B$ ) ?

## Operações Regularizadas (Foley2002:538)

**TABLE 12.1** REGULARIZED BOOLEAN SET OPERATIONS

Set	$A \cup^* B$	$A \cap^* B$	$A -^* B$
$A_i \cap B_i$			
$A_i - B$			
$B_i - A$			
$A_b \cap B_i$			
$B_b \cap A_i$			
$A_b - B$			
$B_b - A$			
$A_b \cap B_b$ <i>same</i>			
$A_b \cap B_b$ <i>diff</i>			

Os índices **b** indicam contornos (*boundaries*);

Os índices **i** indicam interiores;

Onde tem-se **same**, significa do mesmo lado

Onde tem-se **diff**, significa de lados opostos



## Operações Regularizadas (Foley2002:538)

**TABLE 12.1** REGULARIZED BOOLEAN SET OPERATIONS

Set	$A \cup^* B$	$A \cap^* B$	$A -^* B$
$A_i \cap B_i$			
$A_i - B$			•
$B_i - A$			
$A_b \cap B_i$			
$B_b \cap A_i$			•
$A_b - B$			•
$B_b - A$			
$A_b \cap B_b$ <i>same</i>			
$A_b \cap B_b$ <i>diff</i>			•

Os índices **b** indicam contornos (*boundaries*);

Os índices **i** indicam interiores;

Onde tem-se **same**, significa do mesmo lado

Onde tem-se **diff**, significa de lados opostos





## Operações Regularizadas (Foley2002:538)

TABLE 12.1 REGULARIZED BOOLEAN SET OPERATIONS

Set	$A \cup^* B$	$A \cap^* B$	$A -^* B$
$A_i \cap B_i$		•	
$A_i - B$			•
$B_i - A$			
$A_b \cap B_i$		•	
$B_b \cap A_i$		•	•
$A_b - B$			•
$B_b - A$			
$A_b \cap B_b \text{ same}$		•	
$A_b \cap B_b \text{ diff}$			•

Os índices **b** indicam contornos (*boundaries*);

Os índices **i** indicam interiores;

Onde tem-se **same**, significa do mesmo lado

Onde tem-se **diff**, significa de lados opostos



## Operações Regularizadas (Foley2002:538)

TABLE 12.1 REGULARIZED BOOLEAN SET OPERATIONS

Set	$A \cup^* B$	$A \cap^* B$	$A -^* B$
$A_i \cap B_i$	•	•	
$A_i - B$	•		•
$B_i - A$	•		
$A_b \cap B_i$		•	
$B_b \cap A_i$		•	•
$A_b - B$	•		•
$B_b - A$	•		
$A_b \cap B_b \text{ same}$	•	•	
$A_b \cap B_b \text{ diff}$			•

Os índices **b** indicam contornos (*boundaries*);

Os índices **i** indicam interiores;

Onde tem-se **same**, significa do mesmo lado

Onde tem-se **diff**, significa de lados opostos



## Complemento

- Exercite fazer as mesmas operações anteriores mas, considerando o complemento de A, ou o complemento de B ou o complemento de AMBOS...
- O complemento seria basicamente inverter a área identificada como interior do objeto.

## Um detalhe (Foley2002:539)

$$A -* B \quad \Leftrightarrow \quad A \cap * \underline{B}$$

Onde **B** é o complemento do interior de B com a inversão das normais de suas faces



