

SCC-5900 Projeto de Algoritmos

Algoritmos Gulosos

Antes de começarmos, vamos analisar o seguinte cenário com alguns problemas a se resolver...

Seja o seguinte cenário

- Um vetor A de tamanho $n \leq 10K$, contendo inteiros $\leq 100K$
 - $A = \{10, 7, 3, 5, 8, 2, 9\}$, $n = 7$
- Tarefas
 - Encontre o maior e o menor valor em $A > 10$ e 2
 - Encontre o k^{th} menor elemento em A > se $k = 2$, então a resposta é 3
 - Encontre o maior g , tal que $x, y \in A$ and $g = |x - y| \gg 8$
 - Encontre a subsequência crescente mais longa em $A \gg \{3, 5, 8, 9\}$
- Estes são problemas clássicos para os quais sempre pensamos, em primeiro lugar, numa solução força bruta. Vejamos:

$$A = \{10, 7, 3, 5, 8, 2, 9\}, n = 7$$

- Encontre o maior e o menor valor em $A > 10$ e 2
 - Muito simples. Basta fazer uma **Busca Completa**.
 - Complexidade é claramente $O(n)$.

- k^{th} menor elemento
 - Qual seria a solução força bruta, inspirada na solução acima?
 - Complexidade ? Percebe que ela é $O(n^2)$???
 - Vc consegue pensar numa versão, ainda intuitiva que é de $O(n \log n)$????
 - Já adiantando, em que paradigma esta solução se enquadra??

$$A = \{10, 7, 3, 5, 8, 2, 9\}, n = 7$$

- Encontre o maior e o menor valor em $A > 10$ e 2
 - Muito simples. Basta fazer uma **Busca Completa**.
 - Complexidade é claramente $O(n)$.

- k^{th} menor elemento
 - Qual seria a solução força bruta, inspirada na solução acima?
 - Complexidade ? Percebe que ela é $O(n^2)$???
 - Vc conseguem pensar numa versão, ainda intuitiva que é de $O(n \log n)$????
 - Já adiantando, em que paradigma esta solução se enquadra??
 - **Divisão e Conquista !**
 - Existe uma solução mágica aqui que é de $O(n)$.. Alguém conhece ???
 - na verdade é 'esperado' que seja $O(n)$

$$A = \{10, 7, 3, 5, 8, 2, 9\}, n = 7$$

- Encontre o maior g , tal que $x, y \in A$ and $g = |x - y| \ggg 8$
 - Qual o algoritmo força bruta?
 - Qual a sua complexidade ?
 - Consegue pensar numa estratégia de $O(n)$???

$$A = \{10, 7, 3, 5, 8, 2, 9\}, n = 7$$

- Encontre o maior g , tal que $x, y \in A$ and $g = |x - y| \ggg 8$
 - Qual o algoritmo força bruta?
 - Qual a sua complexidade ?
 - Consegue pensar numa estratégia de $O(n)$???
 - A diferença entre o maior e o menor valor !!!!
 - Que estratégia é esta?

$$A = \{10, 7, 3, 5, 8, 2, 9\}, n = 7$$

- Encontre o maior g , tal que $x, y \in A$ and $g = |x - y| \ggg 8$
 - Qual o algoritmo força bruta?
 - Qual a sua complexidade ?
 - Conseguir pensar numa estratégia de $O(n)$???
 - A diferença entre o maior e o menor valor !!!!
 - Que estratégia é esta?
 - Gulosa !!!!

$$A = \{10, 7, 3, 5, 8, 2, 9\}, n = 7$$

- Encontre o maior g , tal que $x, y \in A$ and $g = |x - y| \gg \gg 8$
 - Qual o algoritmo força bruta?
 - Qual a sua complexidade ?
 - Consegue pensar numa estratégia de $O(n)$???
 - A diferença entre o maior e o menor valor !!!!
 - Que estratégia é esta?
 - **Gulosa** !!!!
- Encontre a subsequência crescente mais longa em $A \gg \{3, 5, 8, 9\}$
 - Força bruta: tente todas as $n^2 - 1$ subsequências possíveis. Isso para $n \leq 10K$ é péssimo
 - Existe uma solução **programação dinâmica** $O(n^2)$ que veremos mais adiante!

Finalmente, chegamos aos algoritmos gulosos...

Os sete pecados capitais

- Gula
- Avareza
- Luxúria
- Ira
- Inveja
- Orgulho
- Preguiça
- Gluttony
- Greed
- Lust
- Wrath
- Envy
- Pride
- Loth

Avareza (Greed) -> Um desejo insaciável por ganhos materiais (dinheiro, status, poder, comida).

Greedy Algorithm - Algoritmo Guloso

- Como definir um algoritmo guloso?
 - É praticamente impossível definir com precisão

Um algoritmo é guloso se este constrói uma solução em pequenos passos, tomando uma decisão "ótima" em cada passo, com o objetivo de atingir uma solução ótima globalmente.

Como saber se a estratégia gulosa funciona?

- Um problema deve exibir as seguintes propriedades
 1. **Ele tem estruturas sub-ótimas:** existe solução ótima para o problema se este contém soluções ótimas para os sub-problemas
 2. **Ele tem propriedade gulosa:** Se fizermos o que parece ser melhor naquele momento, terminaremos com a solução ótimas -> Nunca será preciso reconsiderar escolhas passadas !

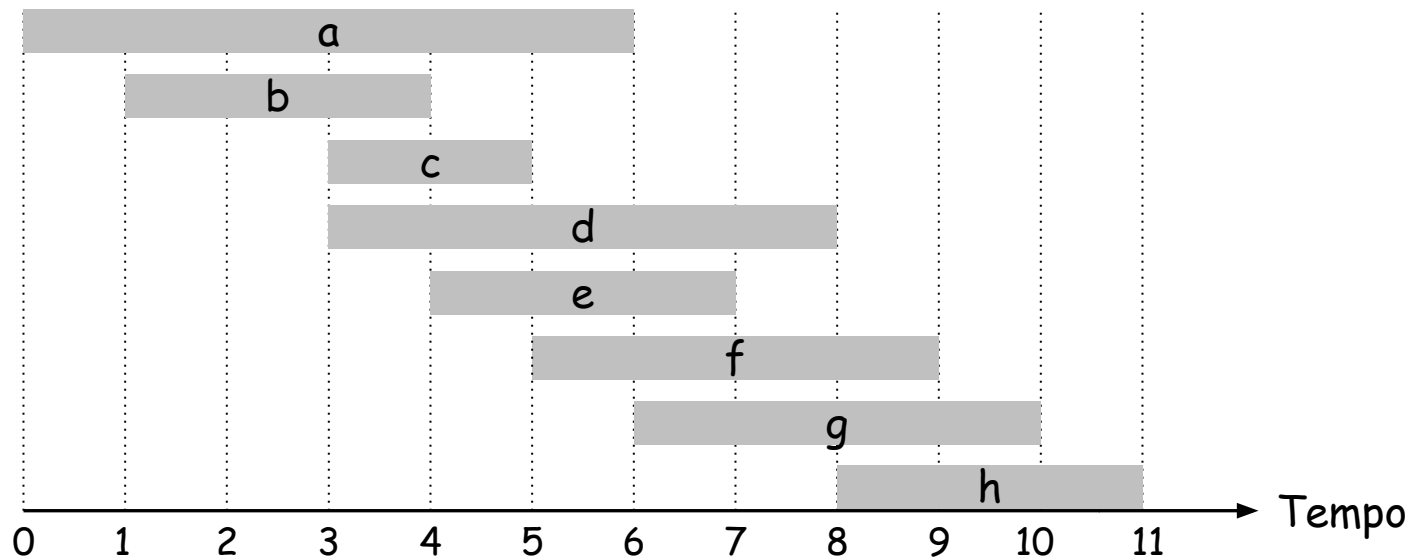
O problema das Moedas

- Dada uma quantia V e uma lista de n moedas, retorne o nro mínimo de moedas que representa V .
 - $V = 42$.
 - Moedas = {25, 10, 5, 1}
- $42 - 25 = 17 \rightarrow 17 - 10 = 7 \rightarrow 7 - 5 = 2 \rightarrow 2 - 1 = 1 \rightarrow 1 - 1 = 0$
- Portanto, 5 moedas
 - **Sub-estruturas ótimas** $\rightarrow 42 = \{25, 10, 5, 1, 1\}$: ótimo; $17 = \{10, 5, 1, 1\}$: 4 moedas (ótimo); $7 = \{5, 1, 1\}$: 3 moedas..
 - **Propriedade Gulosa** $\rightarrow V - x = V' < V$; Podemos provar que se "x" é a maior moeda do conjunto, \nexists outra estratégia melhor. Claro que para um outro conjunto de moedas esta estratégia é furada...

Agendamento de Intervalos (Interval Scheduling)

Agendamento de Intervalos.

- Tarefa j começa em s_j e termina em f_j .
- Duas tarefas são **compatíveis** se não há sobreposição.
- Objetivo: encontre o subconjunto máximo de tarefas mutuamente compatíveis.



Agendamento de Intervalos: Algoritmos Gulosos

Modelo guloso. Considere tarefas em alguma ordem. Cada tarefa é escolhida obedecendo-se o mesmo critério utilizado nas escolhas prévias.

- [Tempo de início mais cedo] Considere tarefas em ordem ascendente de tempo de início s_j .
- [Tempo de fim mais cedo] Considere tarefas em ordem ascendente em tempo de fim f_j .
- [Menor intervalo] Considere tarefas em ordem ascendente de tamanho de intervalo $f_j - s_j$.
- [Menor número de conflitos] Para cada tarefa, conte o número de tarefas em conflito c_j . Agende em ordem ascendente de conflitos c_j .

Agendamento de Intervalos: Algoritmos Gulosos

Modelo guloso. Considere tarefas em alguma ordem. Cada tarefa é escolhida desde que seja compatível com as outras escolhidas previamente.



falha para:

Tempo de início mais cedo



Menor intervalo




Menor número de conflitos

Agendamento de Intervalo

Algoritmo guloso. Considere tarefas em ordem crescente de tempo de término. Cada tarefa é escolhida desde que seja compatível com as outras escolhidas previamente.

```
Sort jobs by finish times so that  $f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_n$ .  
  ↙ jobs selected  
A ← ∅  
for j = 1 to n {  
    if (job j compatible with A)  
        A ← A ∪ {j}  
}  
return A
```



Implementação. $O(n \log n)$.

- Guarde a tarefa j^* que foi adicionada por último em A.
- Tarefa j é compatível com A se $s_j \geq f_{j^*}$.

Agendamento de Intervalos: Análise

Teorema. Algoritmo guloso é ótimo (retorna A “ótimo”).

Pf. (por contradição)

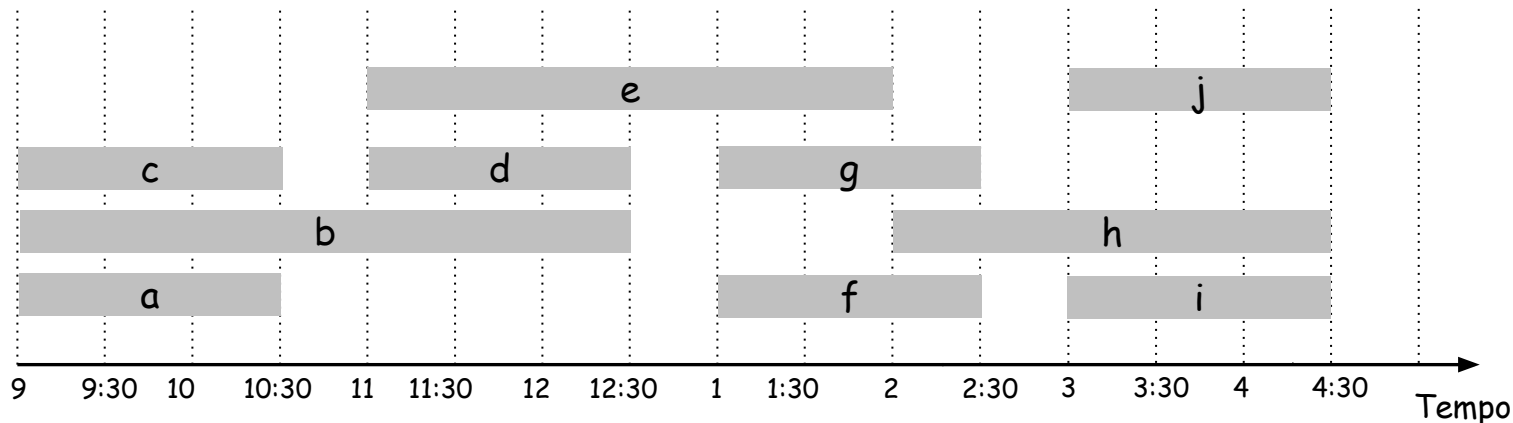
- Assuma que o algoritmo guloso não é ótimo \rightarrow A tem menos elementos que um conjunto ótimo R ($m > k$). m é o nro de elementos em R e k o nro de elementos em A.
- Seja i_1, i_2, \dots, i_k o conjunto das tarefas adicionadas em A. (tempo de término em ordem crescente)
- Seja j_1, j_2, \dots, j_m o conjunto das tarefas em uma solução ótima.
- podemos afirmar que para todo índice $r \leq k$, $f(i_r) \leq f(j_r)$
 - Como $m > k$, existe j_{k+1} no conjunto ótimo
 - este tem início após o fim de ambos j_k e i_k
 - mas após apagar os intervalos não compatíveis com i_1, \dots, i_k o conjunto em R ainda contém j_{k+1} .
 - Mas o algoritmo guloso termina com o intervalo i_k , quando o conjunto R deveria estar vazio >>> contradição

Particionamento de Intervalos

Particionamento de intervalos.

- Palestra j começa em s_j e termina em f_j .
- Objetivo: encontrar um número mínimo de salas para agendar todas as palestras de forma que duas palestras não ocorram na mesma sala ao mesmo tempo

Ex: Esse agendamento usa 4 salas para agendar 10 palestras. Pode ser menos??

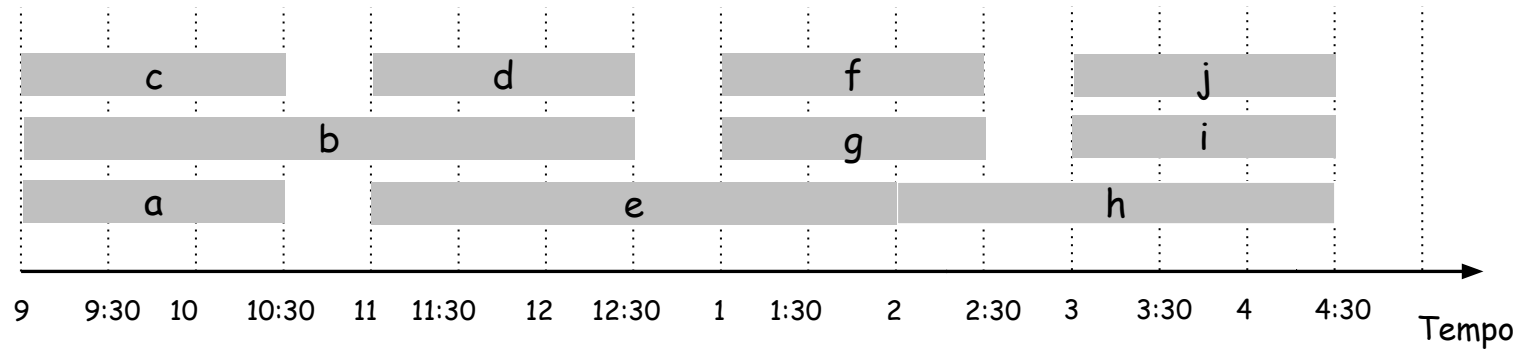


Particionamento de Intervalos

Particionamento de intervalos.

- Palestra j começa em s_j e termina em f_j .
- Objetivo: encontrar um número mínimo de salas para agendar todas as palestras de forma que duas palestras não ocorram na mesma sala ao mesmo tempo

Ex: Esse agendamento usa apenas 3 salas.



Particionamento de Intervalos: Limite inferior da solução ótima

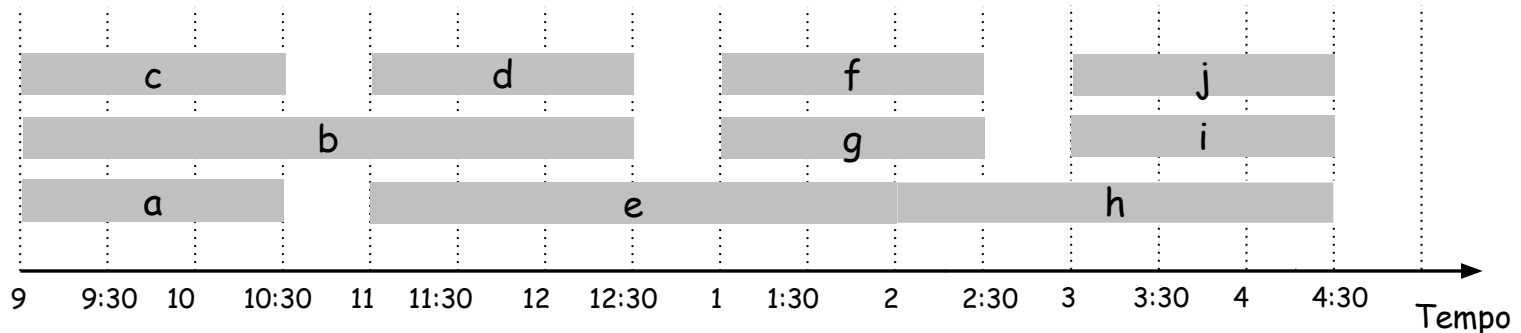
Def. A **profundidade** de um conjunto é o máximo nro de intervalos que se cruzam em algum ponto na linha do tempo.

Observação importante. Número de salas necessárias \geq profundidade.

Ex: Profundidade do agendamento abaixo = 3 \Rightarrow solução ótima.

↑
a, b, c todos se cruzam em 9:30hs

Q. Será que sempre existe um agendamento igual à profundidade dos intervalos?



Particionamento de Intervalos: Algoritmos Gulosos

Algoritmo guloso. Considere palestras em ordem crescente de tempo de início: atribua uma palestra para qualquer sala compatível.

```
Sort intervals by starting time so that  $s_1 \leq s_2 \leq \dots \leq s_n$ .  
d  $\leftarrow$  0  $\leftarrow$  number of allocated  
          classrooms  
  
for j = 1 to n {  
    if (lecture j is compatible with some classroom k)  
        schedule lecture j in classroom k  
    else  
        allocate a new classroom d + 1  
        schedule lecture j in classroom d + 1  
        d  $\leftarrow$  d + 1  
}
```

Implementação. $O(n \log n)$.

- Para cada sala de aula k , mantenha o tempo final da última tarefa adicionada.
- Mantenha as salas em uma fila de prioridade. (sala com menor f_x fica na frente!)

Particionamento de Intervalos: Análise Gulosa

Observação. O algoritmo guloso nunca agenda duas palestras incompatíveis na mesma classe.

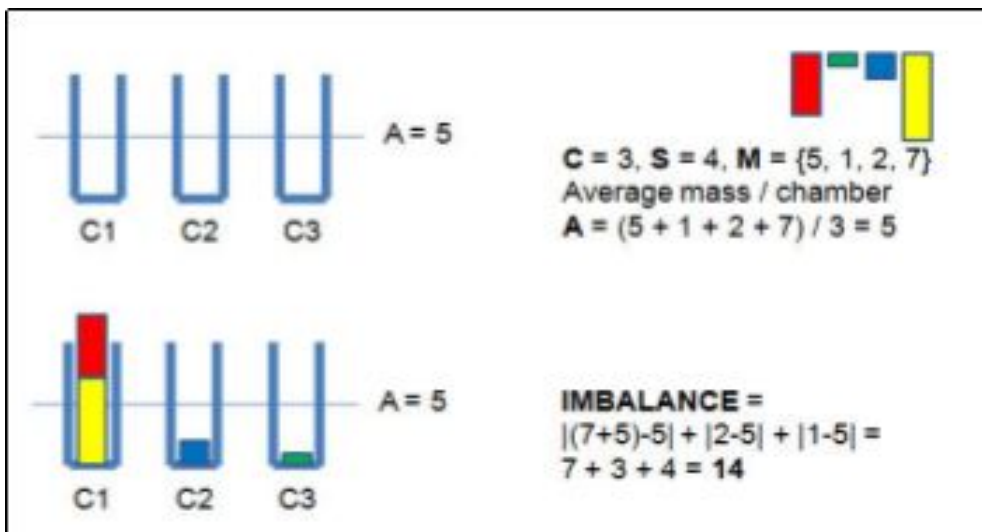
Teorema. O algoritmo guloso é ótimo.

Pf.

- Seja d = número de salas que o algoritmo guloso alocou ($1..d$).
- A sala d está aberta porque tivemos que agendar uma tarefa, digamos j , que era incompatível com todas as $d-1$ salas.
- Uma vez que nós ordenamos por tempo de início, todas essas incompatibilidades são causadas por palestras que começam antes de s_j .
- Então, temos d palestras sobrepondo-se no tempo $s_j + \epsilon$.
- Observação importante \Rightarrow todos os agendamentos usam $\geq d$ salas. ▀

Colocando as feras na jaula

- Sejam C jaulas, cada qual podendo armazenar 0, 1 ou 2 animais. Existem S animais ($1 \leq S \leq 2C$) e uma lista M das massas dos S animais. Determine qual jaula deve conter cada animal tal que o desbalanceamento seja mínimo

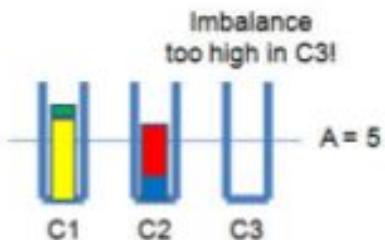


A é o valor médio esperado em cada uma das C jaulas.

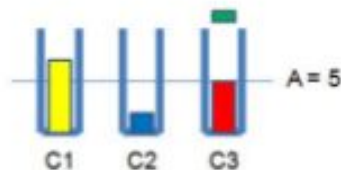
O **desbalanceamento** é a soma das diferenças entre a massa total em cada jaula com relação a A .

Colocando as feras na jaula

- Existe um algoritmo guloso para este problema. Você consegue enxergá-lo?
 - obs 1: se houver uma jaula vazia será normalmente benéfico (e nunca pior) mover um animal de uma jaula com 2, para uma vazia. (jaula vazia aumenta o desbalanceamento)
 - obs 2: Se $S > C$, então $S - C$ animais devem ser colocados aos pares numa jaula que já contém um animal (o princípio do escaninho!)



$$\text{IMBALANCE} = |7+1-5| + |2+5-5| + |0-5| = 3 + 2 + 5 = 10$$



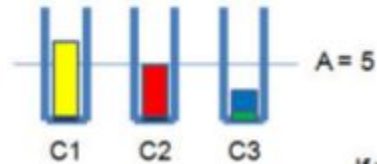
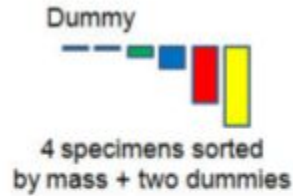
If we already assign 3 specimens to 3 chambers, the 4th specimen and beyond must be paired...

$$\text{IMBALANCE} = |7-5| + |2-5| + |(5+1)-5| = 2 + 3 + 1 = 6$$

Colocando as feras na jaula

- Segredo está na ordenação !
 - se $S < 2C$, então adicione $2C - S$ animais dummies (de massa 0). Se $C = 3$ e $S = 4$, então crie 2 animais extras de massa 0, tal que $M = \{5,1,2,7\}$ seja $M = \{5,2,1,7,0,0\}$
 - ordene o conjunto: $M = \{0,0,1,2,5,7\}$
 - Temos finalmente uma estratégia gulosa neste ponto
 - forme um par em C_1 com as massas M_1 e M_{2C}
 - forme um par em C_2 com as massas M_2 e M_{2C-1} , e assim por diante
- Esta estratégia gulosa é conhecida por balanceamento de carga ou load balancing.
- Prove que isto funciona !

Colocando as feras na jaula



IMBALANCE =
 $|0+7-5| + |0+5-5| + |1+2-5| =$
 $2 + 0 + 2 = 4$ (**OPTIMAL**)

If you swap any two specimens from two different chambers, you will always have worse/equal solution

Compras de Casamento

- Dada uma relação de I itens (calça, sapato, blusa, etc) e uma verba V limitada, sua tarefa é comprar um item de cada, gastando o máximo possível de sua verba ! Cada item possui preços distintos. O problema pode não ter solução
 - Para $V = 20, I = 3$
 - item 0 → 6, 4, 8
 - item 1 → 5, 10
 - item 2 → 1, 5, 3, 5
 - Para $V = 9, I = 3$
 - item 0 → 6, 4, 8
 - item 1 → 5, 10
 - item 2 → 1, 5, 3, 5
 - Qual o primeiro algoritmo que lhe vem à mente?

Compras de casamento

- Se vc pensou o seguinte:
 - selecione, para cada item, aquele com o preço mais alto
 - subtraia da verba este item,
 - repita o processo para os itens restantes
 - Ao final, teremos gasto o máximo possível.
- Se pensou isto, então vc acabou de sugerir um algoritmo guloso:
 - um algoritmo é guloso se ele faz, localmente, a escolha ótima (→selecione o mais caro!) na **esperança** de que, ao final, chegue a uma solução global que seja ótima (→ o menor troco possível ou o máximo dinheiro gasto)
- Por que usamos o termo “esperança” ?
 - voltemos ao exemplo do slide anterior

Compra de casamento

- Exemplo 1

- Para $V = 20, I = 3$
 - item 0 $\rightarrow 6, 4, 8$
 - item 1 $\rightarrow 5, 10$
 - item 2 $\rightarrow 1, 5, 3, 5$

- Exemplo 2

- Para $V = 9, I = 3$
 - item 0 $\rightarrow 6, 4, 8$
 - item 1 $\rightarrow 5, 10$
 - item 2 $\rightarrow 1, 5, 3, 5$
- “no solution”

- Exemplo 3

- Para $V = 12, I = 3$
 - item 0 $\rightarrow 6, 4, 8$
 - item 1 $\rightarrow 5, 10$
 - item 2 $\rightarrow 1, 5, 3, 5$
- “no solution” ou 🙄🙄🙄 ???

Algoritmo Guloso

- Analise os casos do slide anterior
- Vc acha que a solução gulosa para este caso é adequada?
 - a. para $V=20$, ele funciona perfeitamente...
 - b. para $V=9$, ele também funciona. Indica que não há solução e, de fato, não há
 - c. aqui ele falha retumbantemente. Vai dizer que não tem solução, mas têm
- Programação Dinâmica... (assunto de outras aulas...)