

# Otimização e suas aplicações

Prof<sup>a</sup> Laura Bahiense

[laura@cos.ufrj.br](mailto:laura@cos.ufrj.br)



Instituto Alberto Luiz Coimbra de  
Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia

**COPPE**  
UFRJ



**PESCC**  
Programa de Engenharia  
de Sistemas e Computação

## ● Otimização

## ● Algumas aplicações em Otimização:

- Energia
- Petróleo e Logística
- Saúde
- Biologia Marinha

## ● O que é otimização?

- Área da matemática aplicada que faz uso de modelos analíticos (de programação matemática, estatísticos, probabilísticos, etc) e algoritmos para auxiliar na tomada de (boas) decisões.
- Decidir → escolher a(s) melhor(es) alternativa(s), dentre diversas alternativas viáveis (possíveis).



<http://esprit-riche.com/wp-content/uploads/2011/08/prise-de-d%C3%A9cision.jpg>

# Otimização

## Abordagem quantitativa

### ● Abordagem quantitativa:

- Ótica científica;
- Baseada em métodos quantitativos;
- Resolve problemas complexos.



<https://nnikitinblog.files.wordpress.com/2016/03/statistics.jpg>

### ● Em contraponto à abordagem qualitativa:

- Muito baseada na experiência do decisor;
- Resolve problemas mais simples.



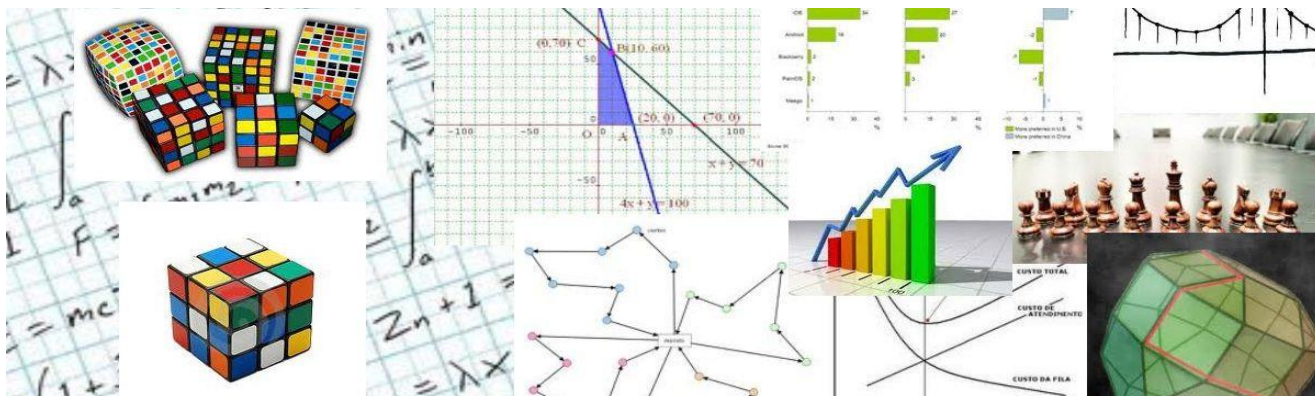
[https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRR0np0twAo8\\_Pw\\_MJUyvbhUbp6gHISghZ43OKHsPCML1QesZAv](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRR0np0twAo8_Pw_MJUyvbhUbp6gHISghZ43OKHsPCML1QesZAv)

# Otimização aplicada

## Multidisciplinaridade

### ● Otimização aplicada:

- Modelagem e resolução de **problemas complexos do mundo real** onde se deseja otimizar (**maximizar** ou **minimizar**) um ou mais objetivos (**lucro, desempenho, produção, qualidade; custo, perda, tempo, risco, poluição, desmatamento, órbita**); e
- Multidisciplinaridade.



Fonte própria.

# Otimização

## Modelo matemático

- Elementos básicos de um modelo matemático:
  - Variáveis de decisão: a(s) pergunta(s) do problema.
  - Dados de entrada: custos, preços, retornos, demandas, etc.
  - Restrições: relações matemáticas que garantem que as soluções para as variáveis de decisão estejam de acordo com as limitações impostas pelo sistema que está sendo modelado.
  - Função objetivo: função matemática que mede o desempenho do sistema modelado, i.e., mede a qualidade da solução em função das variáveis de decisão.

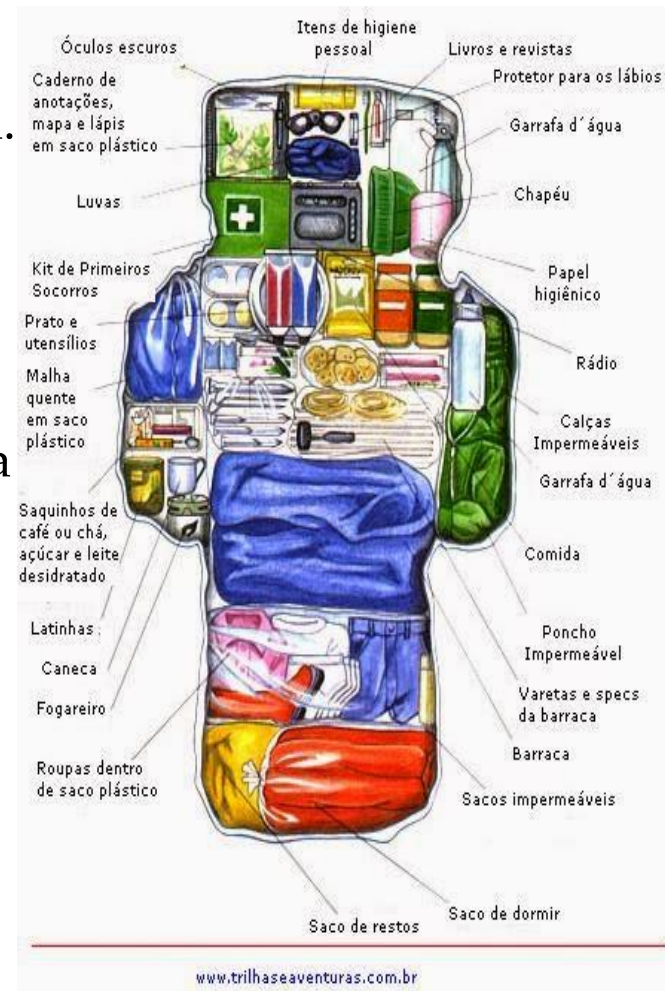


# Otimização Combinatória

## Mochila 0-1

### Definição:

- Um viajante deseja levar  $n$  itens em sua viagem.
- O peso de cada item  $j$  é dado por  $w_j$ .
- O valor de cada item  $j$  é dado por  $p_j$ .
- Os itens devem ser carregados em uma mochila cuja capacidade é  $C$ .
- Se  $\sum_j w_j \leq C$ , então todos os itens podem ser carregados na mochila; caso contrário alguns itens devem ser deixados para trás.
- Isso é justamente o que se quer decidir nesse problema: quais itens devem ser levados?



# Otimização Combinatória

## Mochila 0-1

### Modelo matemático:

#### Variáveis de decisão:

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{se o item } j \text{ é levado na mochila} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

#### Formulação:

$$\begin{cases} \max & \sum_{j \in \text{itens}} p_j x_j \\ \text{s. a.} & \sum_{j \in \text{itens}} w_j x_j \leq C \\ & x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in \text{itens} \end{cases}$$

Onde, sem perda de generalidade:

- $p_j, w_j > 0, \forall j \in \text{itens} ; C > 0$
- $\sum_{j \in \text{itens}} w_j > C$
- $w_j \leq C, \forall j \in \text{itens}$



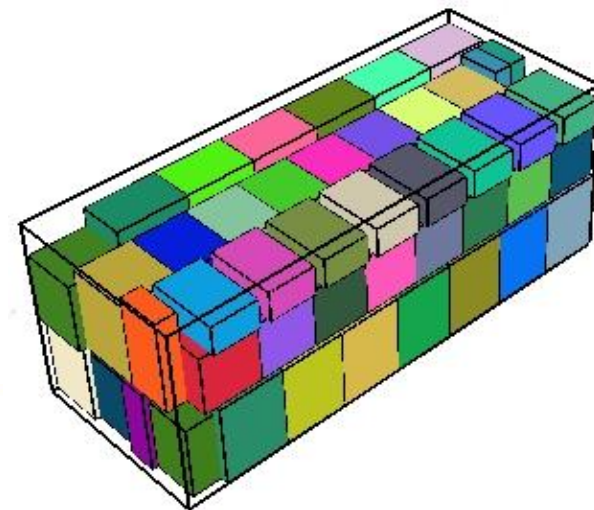
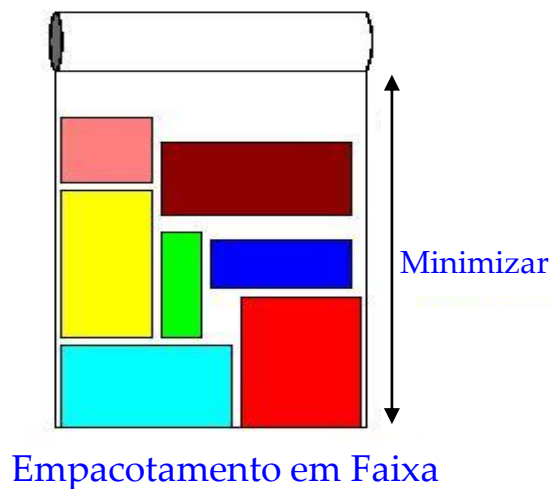
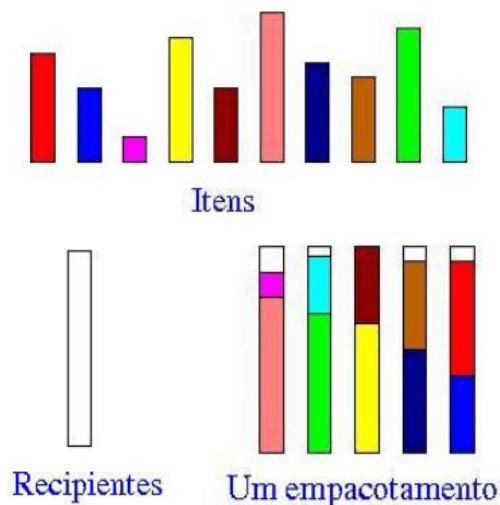
# Otimização Combinatória

## Algumas aplicações da Mochila 0-1

### ● Outras aplicações:

● Carteira de investimentos: tenho disponíveis  $B$  reais para investir em  $n$  projetos. Cada projeto necessita um aporte de investimento, e possui um retorno presumido. Em quais projetos devo investir?

● Corte e empacotamento:



<https://www.ic.unicamp.br/~fkm/problems/empacotamento.html>

# Aplicação I – Energia

## Planejamento da expansão de geração e transmissão

- Gerar e transmitir energia elétrica de forma econômica e sustentável (aquecimento global).
- Brasil – vantagem competitiva: 80% de fontes renováveis.



<https://www.mecanicaindustrial.com.br/wp-content/uploads/2012/03/parque-aeolico.jpg>



<https://www.comboiguassu.com.br/img/clientes/3/postagens/itaipu-binacional.jpg>



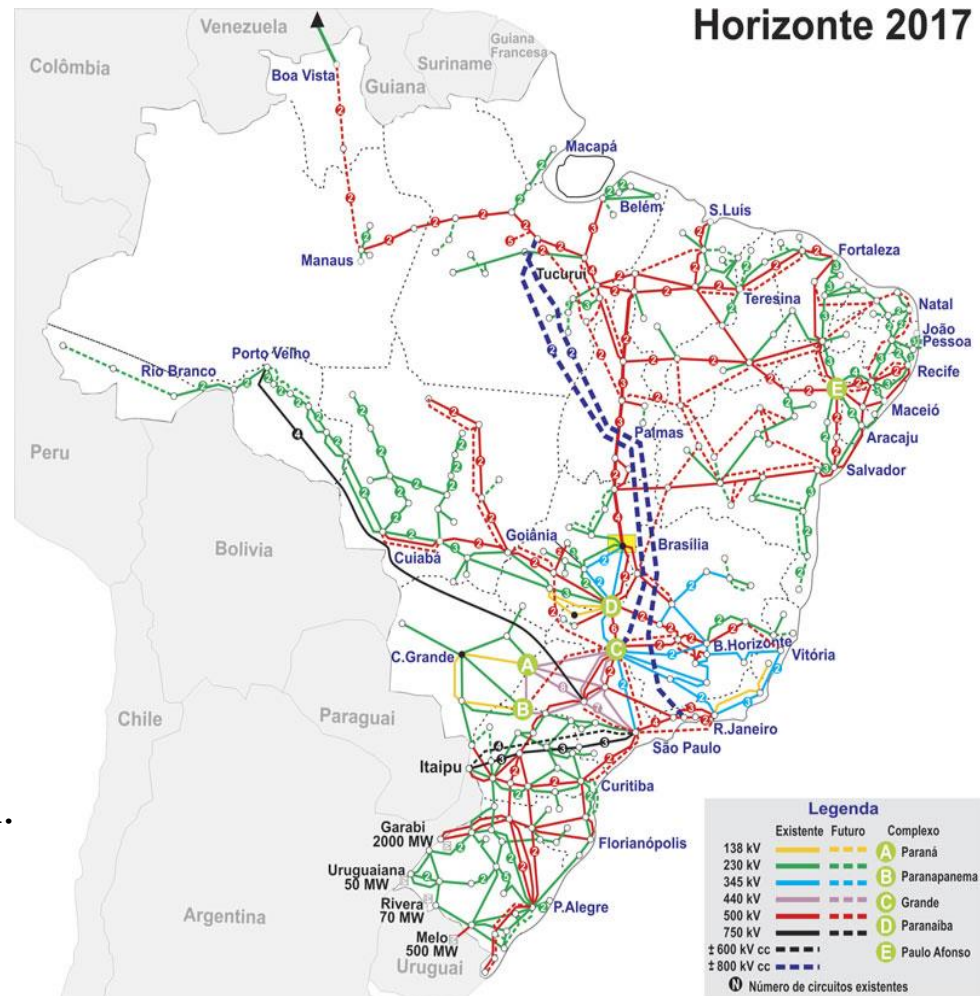
<http://www.edfnortefluminense.com.br/br/images/empresaApresentacao.jpg>

# Aplicação I – Energia

## Planejamento da expansão de geração e transmissão

### ● Problema desafiador:

- Sistema Interligado nacional: mais de 100.000km de linhas de transmissão.
- Sistema hidrotérmico de grande porte com capacidade de regularização (reservatórios).
- Acoplamento temporal e espacial.



[http://ons.org.br/PublishingImages/paginas/sobre\\_sin/mapas/SistemadeTransmissao\\_Horizonte2017.jpg](http://ons.org.br/PublishingImages/paginas/sobre_sin/mapas/SistemadeTransmissao_Horizonte2017.jpg)

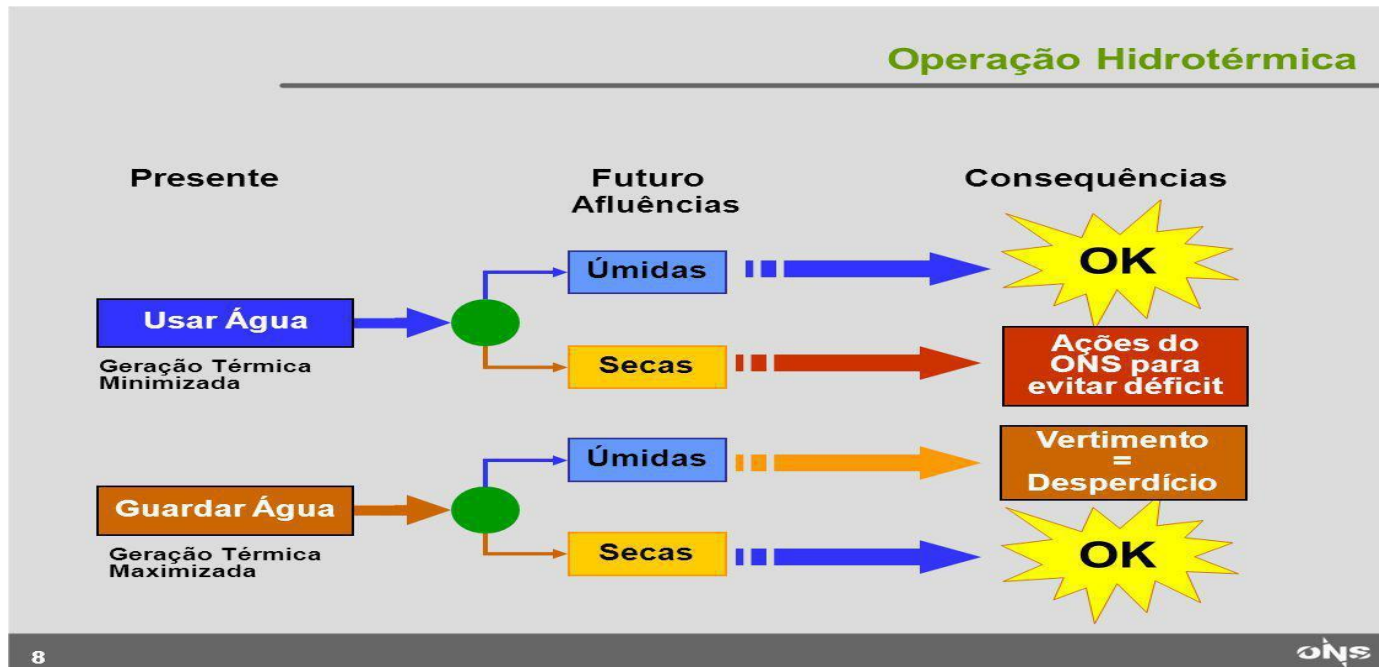


# Aplicação I – Energia

## Planejamento da expansão de geração e transmissão

### ● Problema desafiador – parte I – acoplamento temporal:

- O que fazer para gerar energia hoje? Usar a água armazenada nos reservatórios das hidrelétricas (baixo custo) ou despachar as térmicas (alto custo)?
- Custo imediato da energia impacta custo futuro da energia, altamente dependente das vazões dos rios no futuro, podendo levar a vertimento ou déficit:



<http://slideplayer.com.br/365458/2/images/8/A/C3%A7%C3%B5es+do+ONS+para+evitar+d%C3%A9ficit+Vertimento+%3D+Desperd%C3%ADcio.jpg>



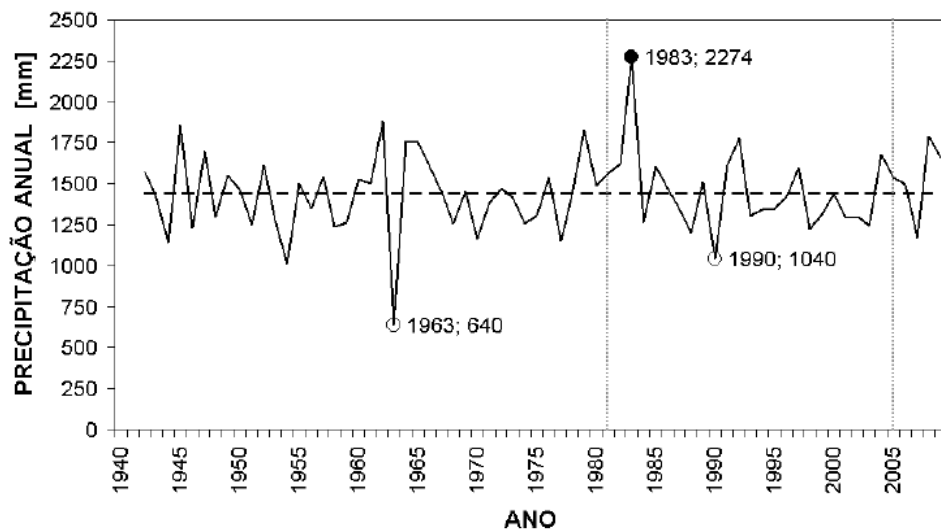
# Aplicação I – Energia

## Planejamento da expansão de geração e transmissão

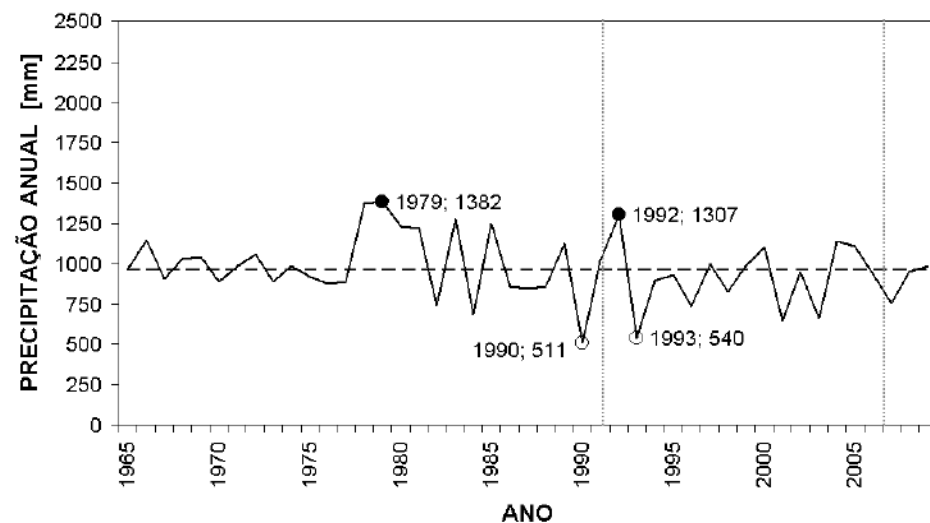
● Problema desafiador – parte III – **variabilidade interanual:**

● Anos de chuva × anos de seca.

● Exemplo: Três Marias e Sobradinho – mesma bacia (Rio São Francisco).



VARIABILIDADE INTERANUAL - TRÊS MARIAS



VARIABILIDADE INTERANUAL - SOBRADINHO

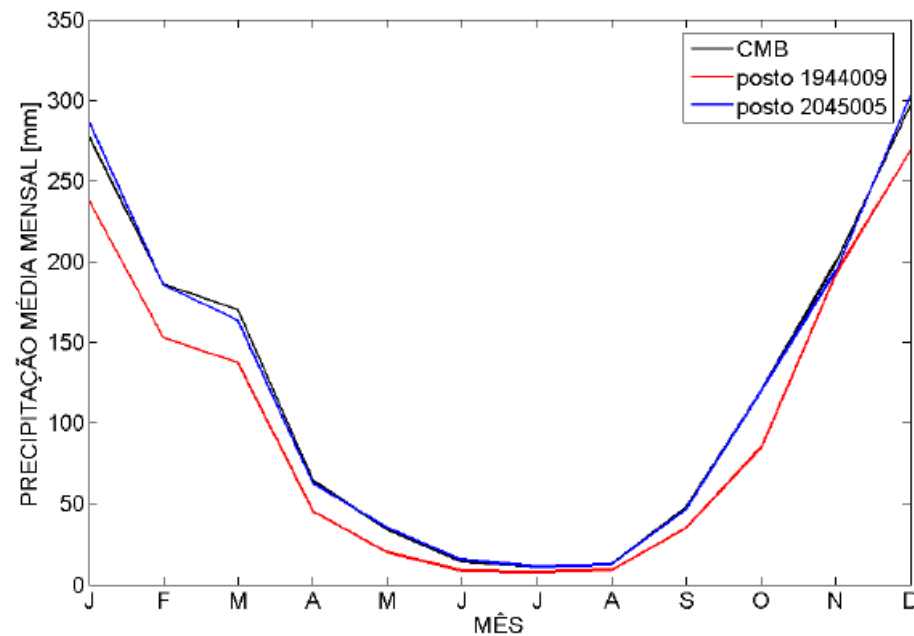
<http://www.tecnologia.ufpr.br/portal/ppgerha/wp-content/uploads/sites/9/2015/02/RelatorioComplementaridadeHidroeleica.pdf>

# Aplicação I – Energia

## Planejamento da expansão de geração e transmissão

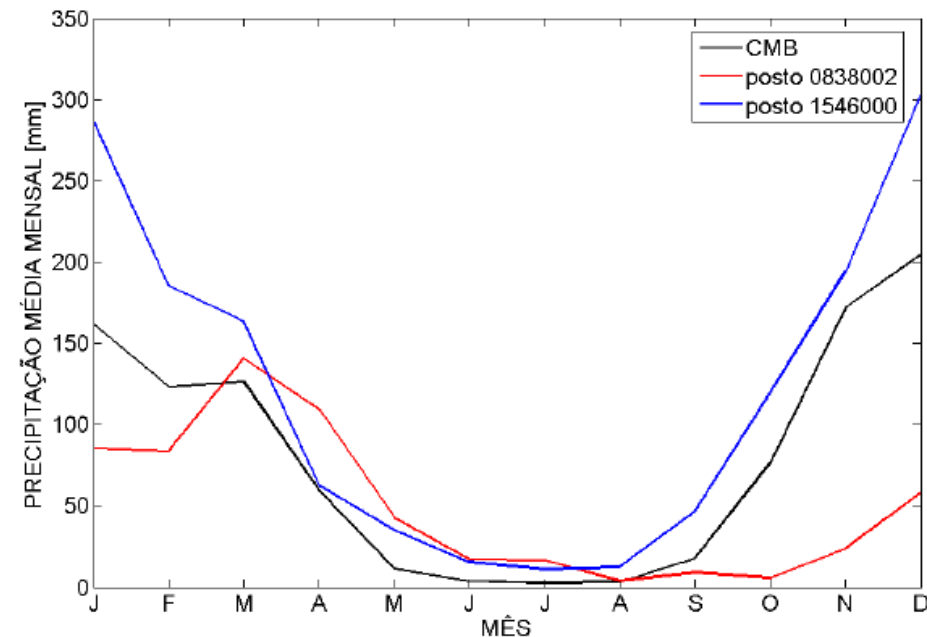
● Problema desafiador – parte IV – sazonalidade intra-anual:

- Períodos secos × períodos úmidos.
- Exemplo: Três Marias e Sobradinho – mesma bacia (Rio São Francisco).



CICLO ANUAL - TRÊS MARIAS

<http://www.tecnologia.ufpr.br/porta1/ppgerha/wp-content/uploads/sites/9/2015/02/RelatorioComplementaridadeHidroelica.pdf>



CICLO ANUAL - SOBRADINHO

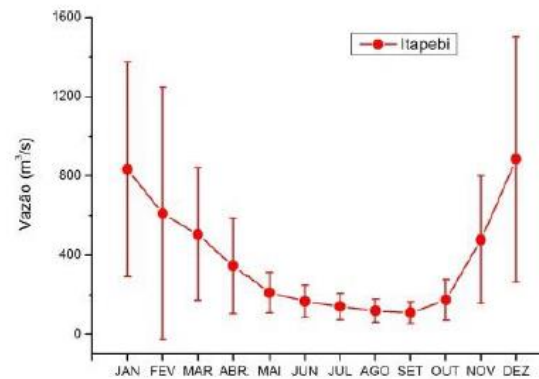
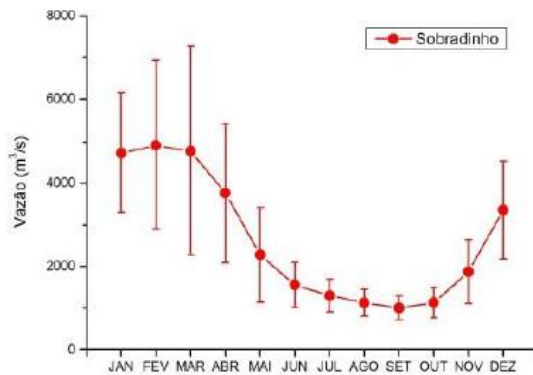


# Aplicação I – Energia

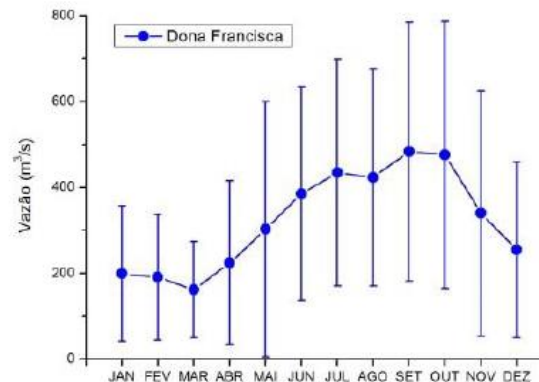
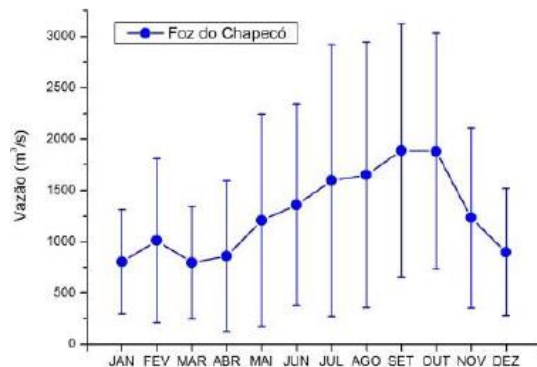
## Planejamento da expansão de geração e transmissão

● Problema desafiador – parte V – **diversidade e complementaridade das bacias:**

- Regiões com características físicas e climáticas bem distintas.
- Bacias por vezes complementares → Ex.: SE e NE secos e S úmido.



região NE



região Sul

<http://www.tecnologia.ufrj.br/portal/ppgerha/wp-content/uploads/sites/9/2015/02/RelatorioComplementaridadeHidroelica.pdf>

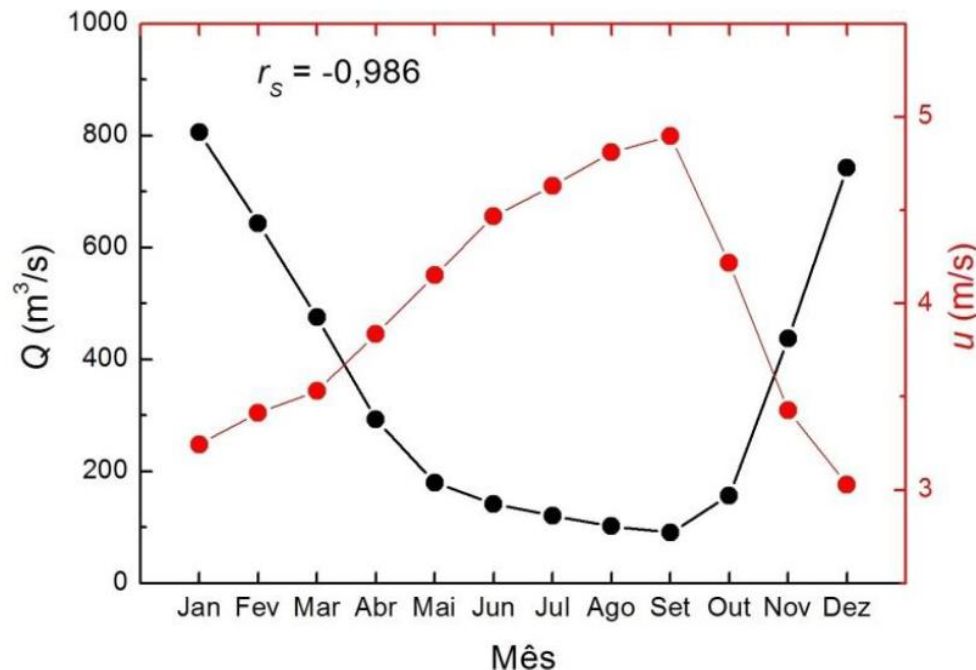
# Aplicação I – Energia

## Planejamento da expansão de geração e transmissão

● Problema desafiador – parte VI – complementaridade entre fontes energéticas:

● Aproveitar as complementaridades hidro-eólicas.

Ex.: UHE Itapebi × Complexo Eólico de Caetitê – estado da Bahia.



<http://www.tecnologia.ufpr.br/portal/ppgerha/wp-content/uploads/sites/9/2015/02/RelatorioComplementaridadeHidroelolica.pdf>

# Aplicação II – Petróleo e Logística

## Transporte marítimo de cargas e programação de berços

- Operações marítimas de E&P no Brasil – apoiadas por um sistema logístico e de serviços, chamado de apoio marítimo: portos, embarcações, aeródromos, armazéns, helicópteros.



Fonte própria.





# Aplicação II – Petróleo e Logística

## Transporte marítimo de cargas e programação de berços

- Cargas de convés: água potável, rancho, carga geral, tubos, risers, produtos químicos, água industrial, fluidos e insumos de perfuração.



Fonte própria.



# Aplicação II – Petróleo e Logística

## Transporte marítimo de cargas e programação de berços

### ● Problema desafiador – parte I:

- As unidades marítimas enviam demandas e janelas de tempo de atendimento.
- Os pedidos são atendidos por embarcações que saem do porto e possuem capacidade limitada: **problema de agrupamento + problema de roteirização periódica das Ums + problema de dimensionamento de frota heterogênea.**

Freq	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
1	X						
		X					
			X				
				X			
2					X		
	X			X			
	X	X			X		
		X				X	
3			X				X
			X				X
	X			X		X	
	X	X		X		X	
		X		X		X	
		X			X		X

Fonte própria.



<http://tmapetroleo.com.br/media/cache/c5/5f/c55f1c234e65b199afa7f3e7cfb1e4e2.jpg>

# Aplicação II – Petróleo e Logística

## Transporte marítimo de cargas e programação de berços

### ● Problema desafiador – parte II:

- Atracação, carga e descarga nos berços: **problema de alocação** dos berços + **problema de escalonamento** das atividades de carga e descarga nos berços.
- Fontes de incerteza: condições de mar, tempos de viagem, tempos de carga e descarga nos berços e nas UMs, demandas das UMs (sondas principalmente).

		3B													
Class	#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
PSV 4500	#1	1362		686			1094			1238					
PSV 4500	#2	1013			1331			1362			686				
PSV 4500	#3	1238			1131			1013			1331				
PSV 4500	#4	1336			39			1336							
PSV 3000	#1	22		167		972		22		167					
PSV 3000	#2	267		31		113		267		31					
PSV 1500	#1	933	49	937	265	933	49	937	265						

Fonte própria.

		2B													
Class	#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
PSV 4500	#1	686		113		1013			1331			31			
PSV 4500	#2	1331			31			686			113				
PSV 4500	#3	972		1336			1131			1238					
PSV 4500	#4	39			1094			39							
PSV 4500	#5	1238			1362			972			1336				
PSV 3000	#1	22		937		933		22		937		933			
PSV 3000	#2	167	267	265	49	167	267	265	49						



# Aplicação III – Saúde

## Otimização e gestão de filas de espera por cirurgias no INTO

- Especializado em tratamentos cirúrgicos de alta complexidade para pacientes eletivos.

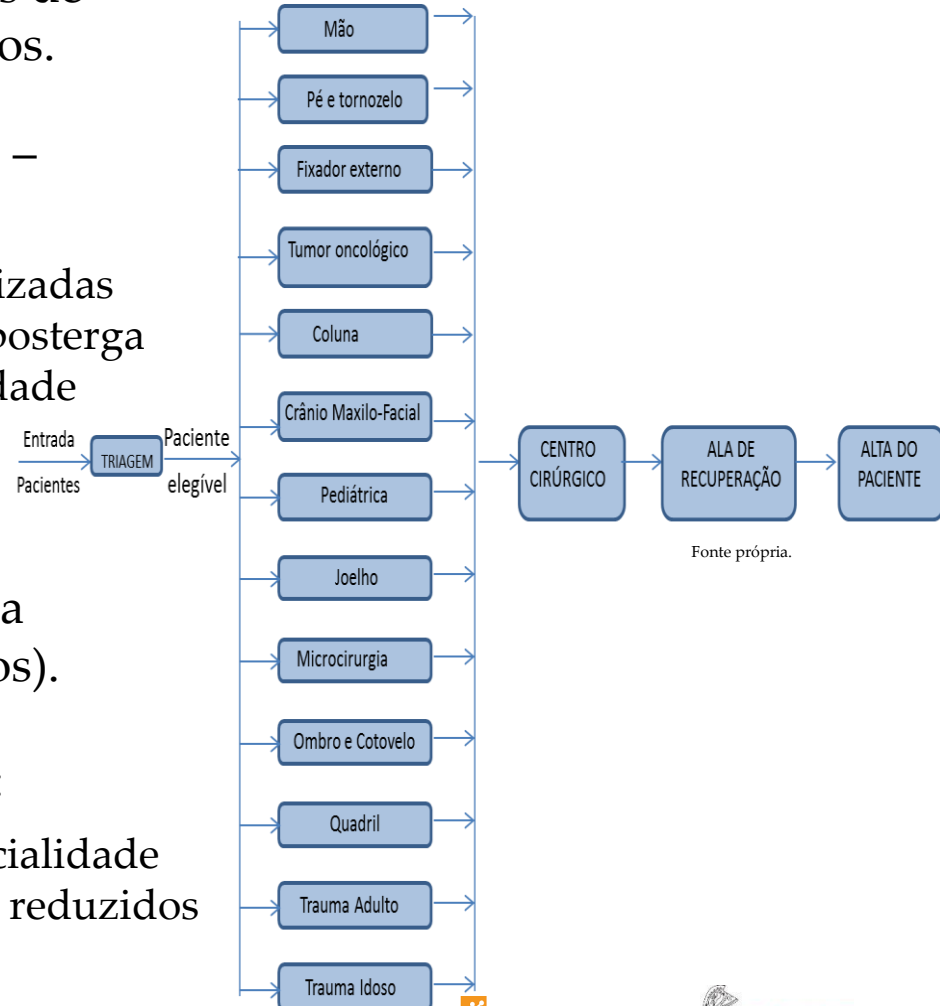
- Filas proibitivas de espera por cirurgias – política equivocada de gerenciamento:

- Maximização do número de cirurgias realizadas
  - prioriza cirurgias de menor duração e posterga cirurgias de maior duração e complexidade (p.ex., coluna e quadril).

- Solução: modelagem integrada desde a chegada do paciente até sua liberação da ala de recuperação (evitar cancelamentos).

- Número mínimo de cirurgias a realizar:

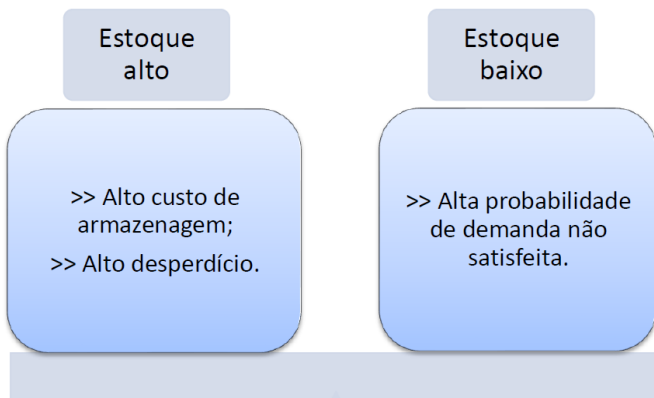
- Em função das taxas de chegada por especialidade
  - manter as filas de espera em patamares reduzidos no longo prazo.



# Aplicação IV – Saúde

## Gestão de estoques de hemocomponentes no HEMORIO

- Garante a disponibilidade de hemocomponentes de todos os tipos sanguíneos para os hospitais públicos do Estado do RJ.
- Tarefa não trivial: incertezas nas demandas dos hospitais e nas doações; perecibilidade; dificuldade de manter altos níveis de estoques de segurança; falta de segurança (entorno).
- Ônibus-coleta e coletas desmontáveis respondem por 35% das doações atualmente. Recurso oneroso: requisitos legais – equipe médica.
- Primeiro estudo: dimensionamento da frota ótima de ônibus-coleta e coletas móveis para um melhor gerenciamento do estoque de hemocomponentes.



Fonte própria.



<https://i0.wp.com/www.correiodobrasil.com.br/wp-content/uploads/2014/08/hemoriocoleta.jpg?w=635&ssl=1>



Fonte própria.

# Recifes de corais – Banco de Abrolhos

## Corais:

- Uma das formações mais sensíveis e antigas do mundo;
- Estudo de sua evolução → previsões para o futuro do planeta;
- Enorme potencial biotecnológico.

## Banco de Abrolhos:

- Recifes de corais mais ricos de todo o Atlântico Sul;
- Quatro vezes mais espécies endêmicas que o Caribe;
- Contém todas as espécies coralíneas brasileiras;
- Extremamente rico em biodiversidade.



[https://www.researchgate.net/profile/Hudson\\_Pinheiro2/publication/308272427\\_Newly\\_discovered\\_reefs\\_in\\_the\\_southern\\_Abrolhos\\_Bank\\_Brazil\\_Anthropogenic\\_impacts\\_and\\_urgent\\_conservation\\_needs/links/5a2f8983aca2726d0bd6e968/Newly-discovered-reefs-in-the-southern-Abrolhos-Bank-Brazil-Anthropogenic-impacts-and-urgent-conservation-needs.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Hudson_Pinheiro2/publication/308272427_Newly_discovered_reefs_in_the_southern_Abrolhos_Bank_Brazil_Anthropogenic_impacts_and_urgent_conservation_needs/links/5a2f8983aca2726d0bd6e968/Newly-discovered-reefs-in-the-southern-Abrolhos-Bank-Brazil-Anthropogenic-impacts-and-urgent-conservation-needs.pdf)

# Aplicação V – Biologia marinha

## Análise da comunidade recifal da foz do Rio Doce após o desastre de Mariana

### ● Rompimento da Barragem do Fundão no Rio Doce:

- Uma das maiores tragédias ambientais e humanas do país.

### ● Lama tóxica:

- 60 milhões de toneladas de lodo tóxico;
- Moveu-se através do Rio Doce; e
- **Atingiu as novas formações recifais do sul do Banco de Abrolhos.**



[https://www.researchgate.net/profile/Hudson\\_Pinheiro2/publication/308272427\\_Newly\\_discovered\\_reefs\\_in\\_the\\_southern\\_Abrolhos\\_Bank\\_Brazil\\_Anthropogenic\\_impacts\\_and\\_urgent\\_conservation\\_needs/links/5a2f8983aca2726d0bd6e968/Newly-discovered-reefs-in-the-southern-Abrolhos-Bank-Brazil-Anthropogenic-impacts-and-urgent-conservation-needs.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Hudson_Pinheiro2/publication/308272427_Newly_discovered_reefs_in_the_southern_Abrolhos_Bank_Brazil_Anthropogenic_impacts_and_urgent_conservation_needs/links/5a2f8983aca2726d0bd6e968/Newly-discovered-reefs-in-the-southern-Abrolhos-Bank-Brazil-Anthropogenic-impacts-and-urgent-conservation-needs.pdf)

### ● Primeiras análises da pluma:

- Elevada contaminação por metais pesados;
- Acima do permitido pela legislação brasileira para peixes (camarões);
- Arsênico: 110 (140) vezes acima;
- Cádmio: 5 (12) vezes acima; e
- Chumbo: 5 vezes acima.





# Obrigada!



# Perguntas?