

COMUSA – Belo Horizonte, 25 de outubro de 2016

Intervenções em rios urbanos

Márcio Baptista

Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos
Escola de Engenharia da UFMG



Plano da Apresentação

- Abordagem e tecnologias usuais de intervenções em rios urbanos
- Contexto atual dos rios urbanos
- Tendências contemporâneas

Abordagem usual das intervenções em cursos de água

- **CONDICIONANTES DE PROJETO**

⇒ Aspectos hidrológicos e hidráulicos (Q, U, y)

⇒ Aspectos tecnológicos ⇒ **Custos**

Análise Custo/Benefício

⇒ **Definição da intervenção**

Orçamento disponível

Dimensionamento hidráulico

Aplicação das equações clássicas da Hidráulica de escoamentos livres:

- $\Rightarrow Q$: Hidrologia
- $\Rightarrow A, R_h$: Geometria da seção
- $\Rightarrow I$: Topografia
- $\Rightarrow n$: Atrito água/material adjacente

$\rightarrow$ verificações hidráulicas diversas

Dimensionamento hidráulico

❑ Critérios básicos de dimensionamento

❑ Revestimentos rígidos:

→ Otimização tecnológica da seção

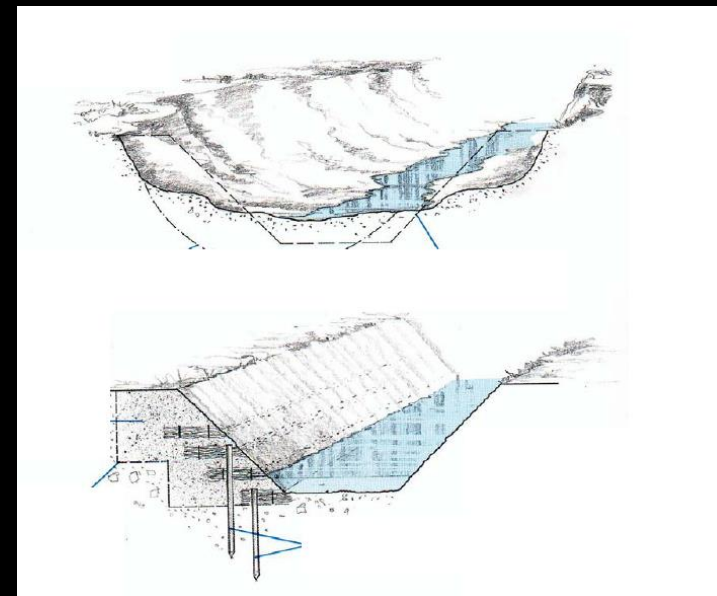
❑ Cursos de água naturais ou revestidos com materiais não rígidos:

→ Garantia da estabilidade

Método da Velocidade Permissível

Método das Tensões de Arraste

→ Otimização tecnológica da seção



Dimensionamento hidráulico

- Canais não revestidos

→ Garantia da estabilidade

Material do canal	Inclinação máxima (H:V)	Valor de Z
Rocha sã	Vertical	0,0
Rocha alterada	¼:1	0,25
Argila compactada	½:1 a 1:1	0,50 a 1,00
Enrocamento ou solo para canais largos	1:1	1,00
Argila densa ou solo para canais estreitos	1½:1	1,50
Solo arenoso solto	2:1	2,00
Argila arenosa ou porosa	3:1	3,00

- Canais não revestidos
 - ➔ Garantia da integridade

Método da Velocidade Permissível

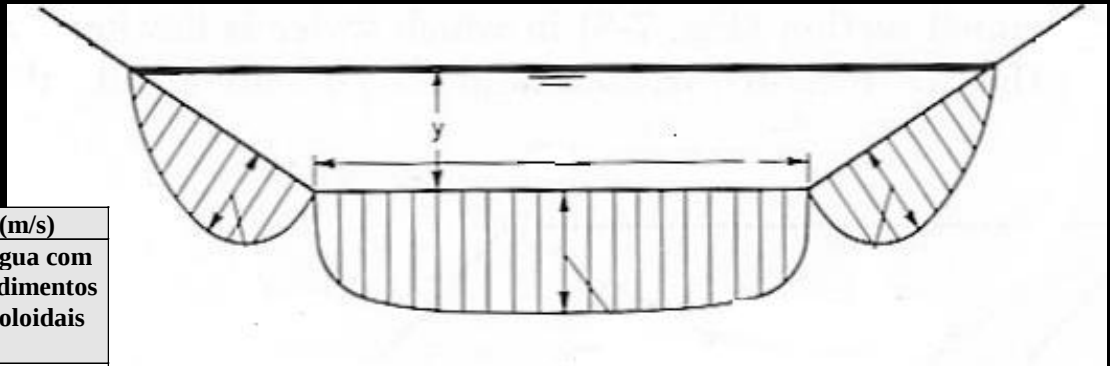
➔ Velocidades operacionais de forma a assegurar a não ocorrência de erosões

Material do canal		Velocidade admissível (m/s)		
		Água pura	Água com sedimentos não coloidais	Água com sedimentos coloidais
Solos não coloidais	Areia fina	0,46	0,46	0,76
	Argilo-arenoso	0,53	0,61	0,76
	Argilo-siltoso	0,61	0,61	0,91
	Silte aluvionar	0,61	0,61	1,07
	Argiloso	0,76	0,69	1,07
	Argila estabilizada	1,14	1,52	1,52
	Cascalho fino	0,76	1,14	1,52
	Cascalho grosso	1,22	1,98	1,83
	Seixos e pedregulhos	1,52	1,98	1,68
Solos coloidais	Argila densa	1,14	1,52	1,52
	Silte aluvionar	1,14	0,91	1,52
	Silte estabilizado	1,22	1,52	1,68

- Canais não revestidos
→ Garantia da integridade

Método das tensões de arraste

- Manter as tensões de cisalhamento junto às paredes e ao fundo do canal inferiores à tensão de cisalhamento admissível



Material do canal		Velocidade admissível (m/s)		
		Água pura	Água com sedimentos não coloidais	Água com sedimentos coloidais
Solos não coloidais	Areia fina	0,46	0,46	0,76
	Argilo-arenoso	0,53	0,61	0,76
	Argilo-siltoso	0,61	0,61	0,91
	Silte aluvionar	0,61	0,61	1,07
	Argiloso	0,76	0,69	1,07
	Argila estabilizada	1,14	1,52	1,52
	Cascalho fino	0,76	1,14	1,52
	Cascalho grosso	1,22	1,98	1,83
	Seixos e pedregulhos	1,52	1,98	1,68
Solos coloidais	Argila densa	1,14	1,52	1,52
	Silte aluvionar	1,14	0,91	1,52
	Silte estabilizado	1,22	1,52	1,68

Definição das seções e revestimentos

- **Concreto**

⇒ Custo e impacto ambiental elevado

⇒ Facilidade de conservação

⇒ Grande flexibilidade quanto à forma

⇒ Velocidades operacionais elevadas



Definição das seções e revestimentos

- **Gabiões**

⇒ Custo, impacto e conservação intermediários

⇒ Flexibilidade quanto a velocidade e forma



Definição das seções e revestimentos

- **CANAIS EM ENROCAMENTOS**
 - Pedras argamassadas
 - Pedras semi-arrumadas
 - Pedras lançadas
- Custo, impacto e conservação intermediários
- Maior flexibilidade quanto a velocidade e forma:
 - Velocidade $\Rightarrow$ função do diâmetro das pedras

Enriocamento de pedra argamassada



Enrocamento de pedras arrumadas



Enrocamento de pedras lançadas

Definição das seções e revestimentos

- **Revestimento Vegetal**

⇒ Baixo custo e impacto ambiental

⇒ Dificuldade de conservação

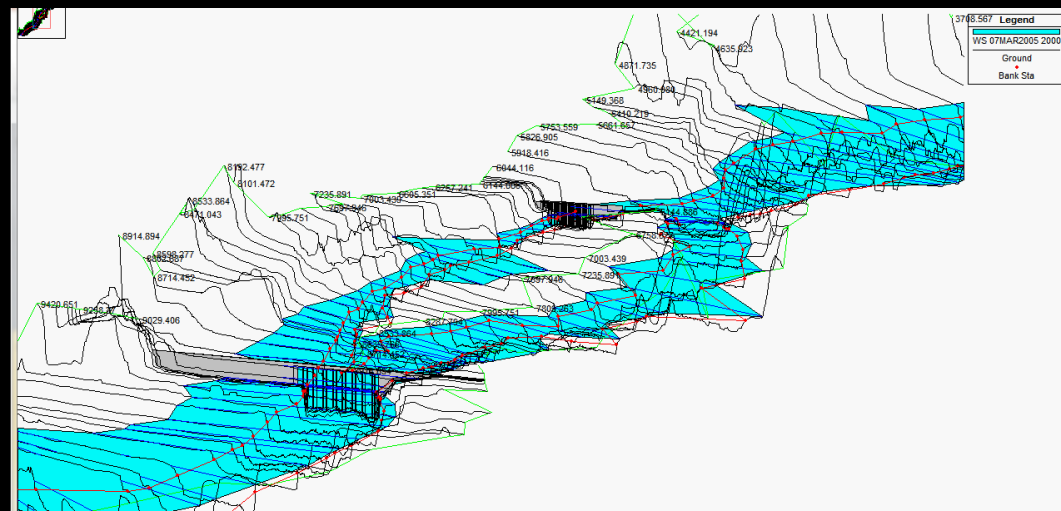
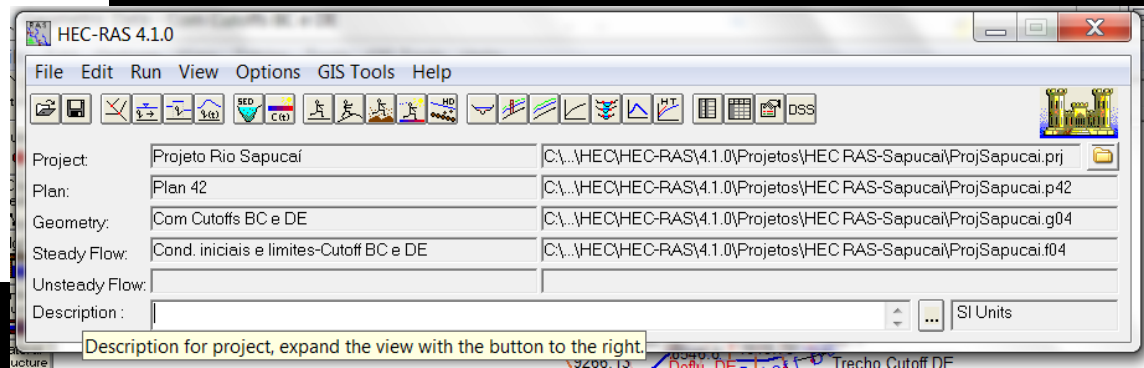
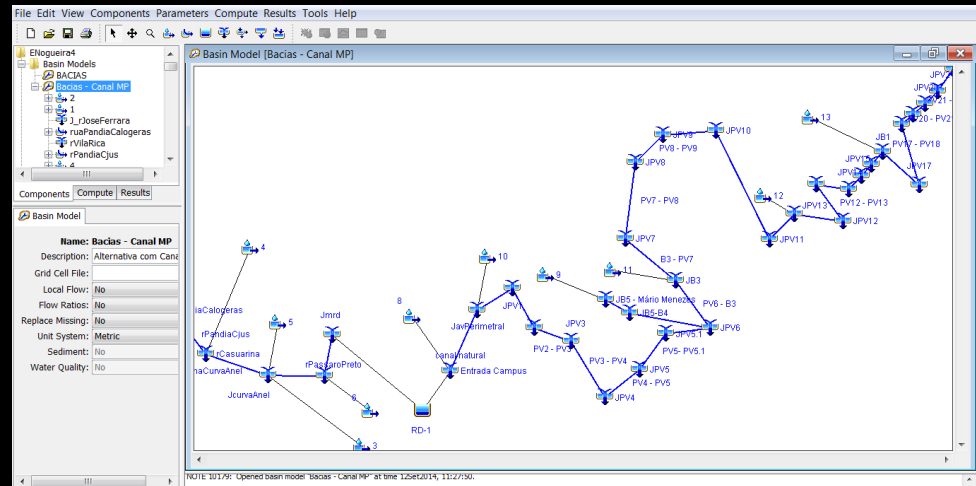
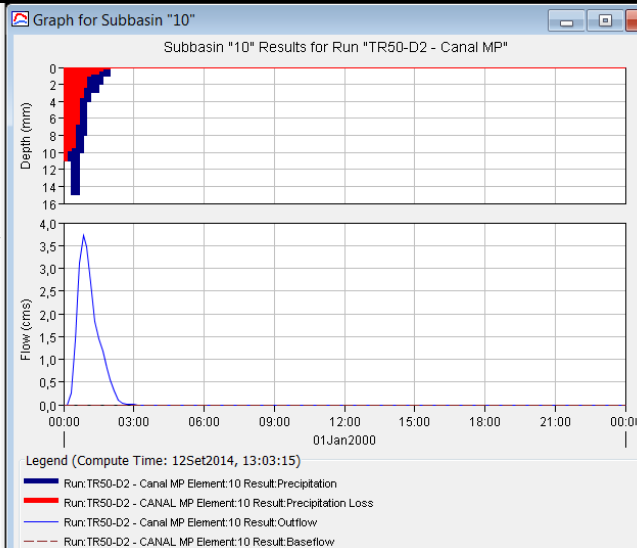
⇒ Velocidades relativamente limitadas

⇒ Taludes limitados





A line drawing of a landscape. In the foreground, there is a sloping hillside with several small evergreen trees. In the background, there are more mountains. The sky features a sun in the upper left corner and two clouds in the upper right corner, with rain falling from them.

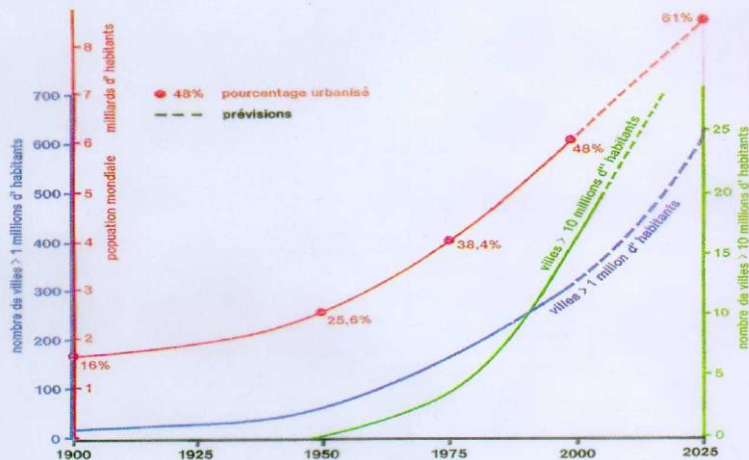


Rios urbanos: contexto e desafios atuais

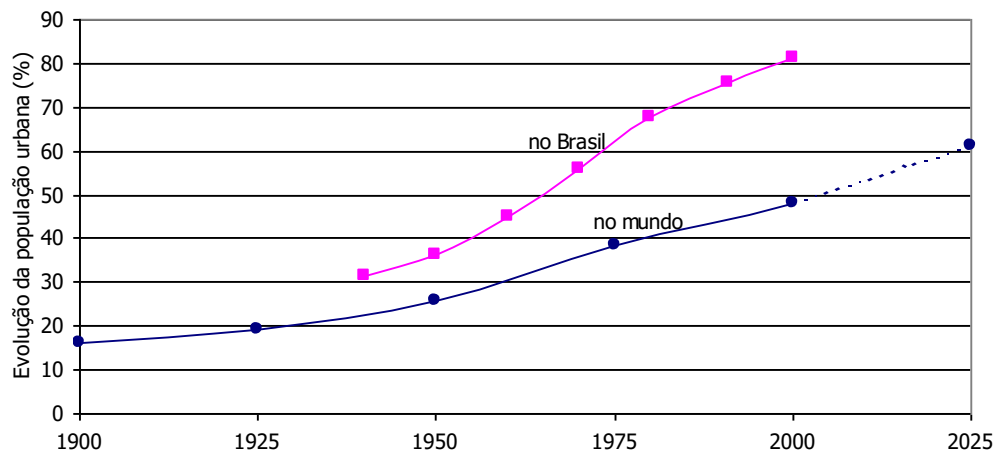
✓ Concentração da população em cidades



Evolution démographique dans le monde et développement urbain

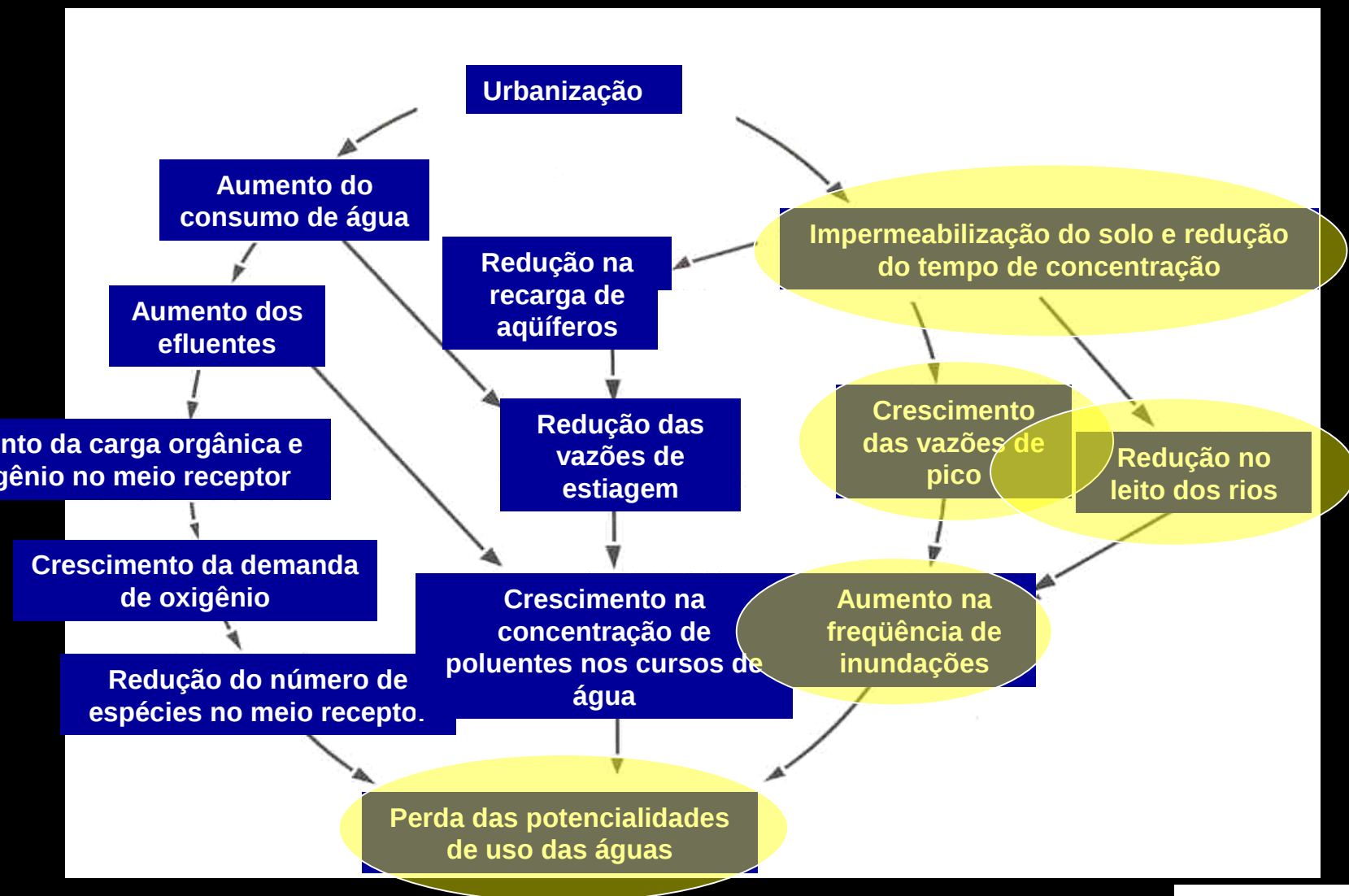


Source : Banque mondiale et Institut d'aménagement et d'urbanisme de la Région Île-de-France

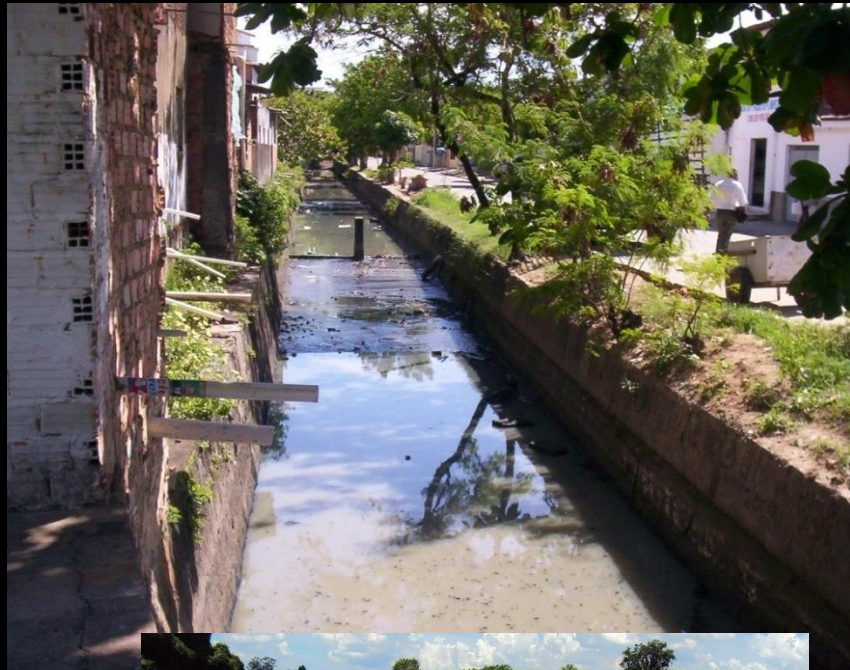


Necessidade de minimização/compensação dos impactos da urbanização

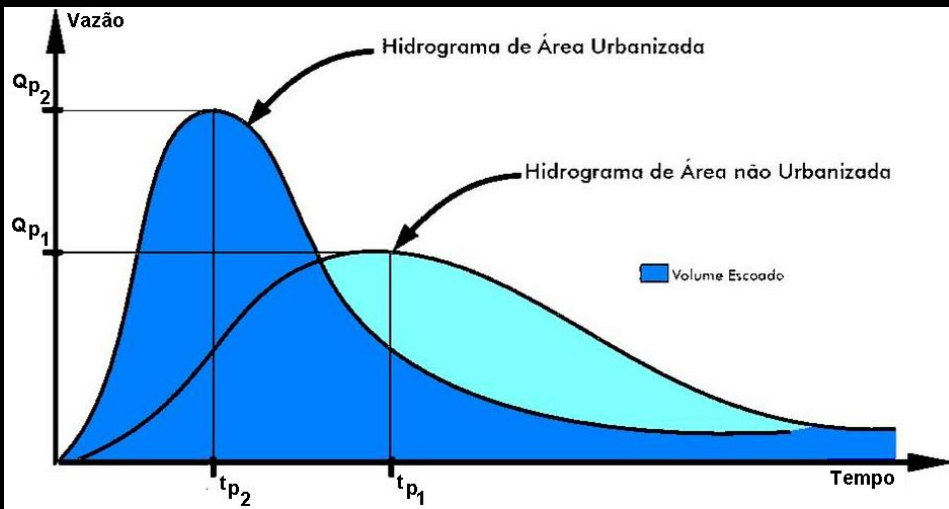
Impactos da urbanização



→ Degradação da qualidade das águas

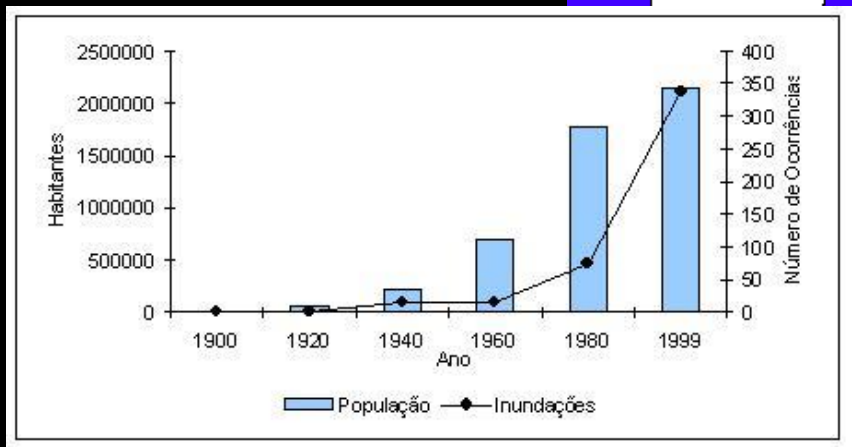
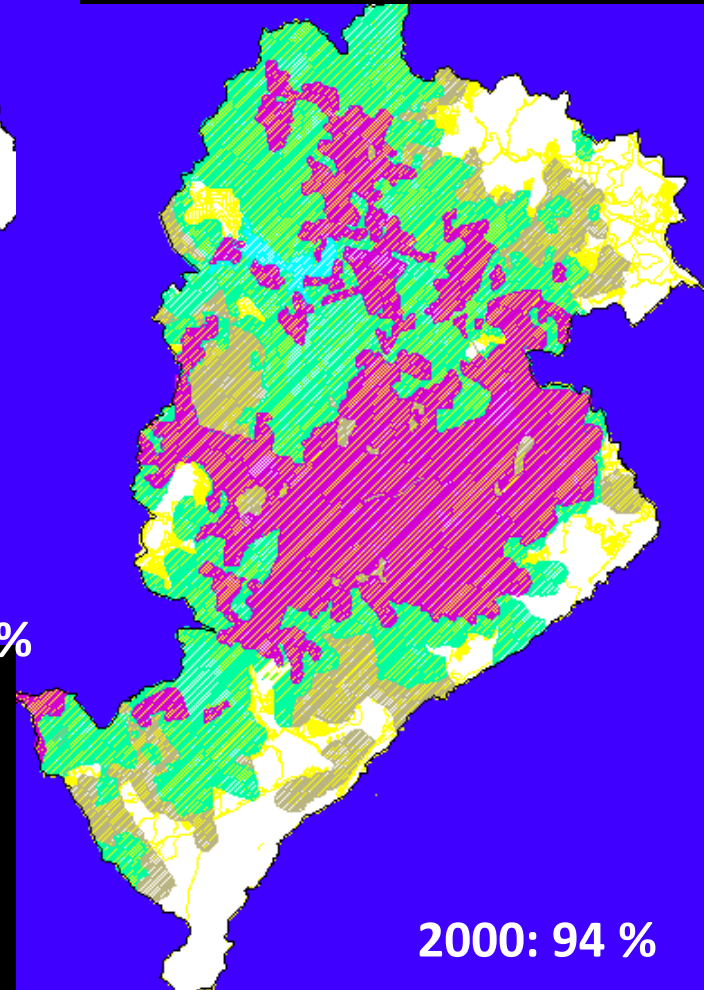
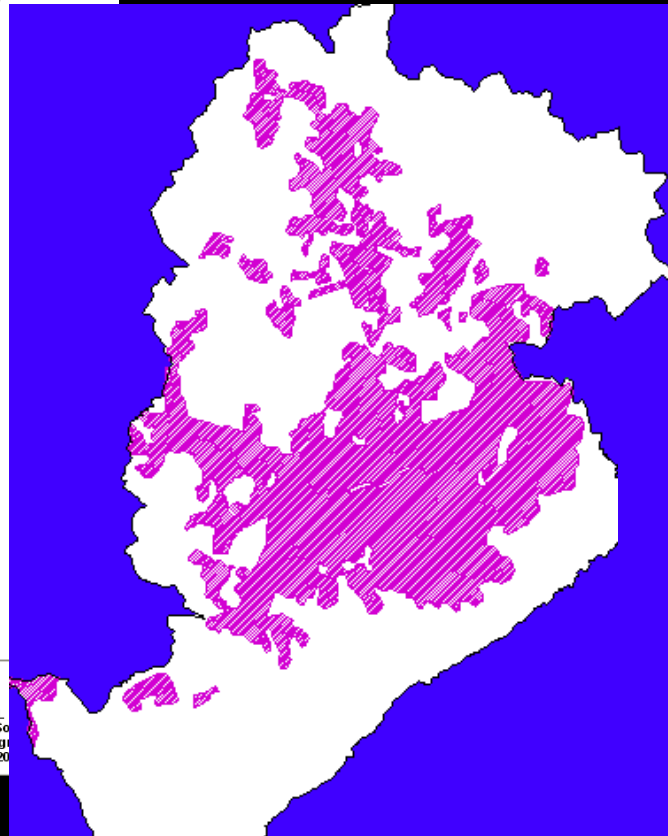
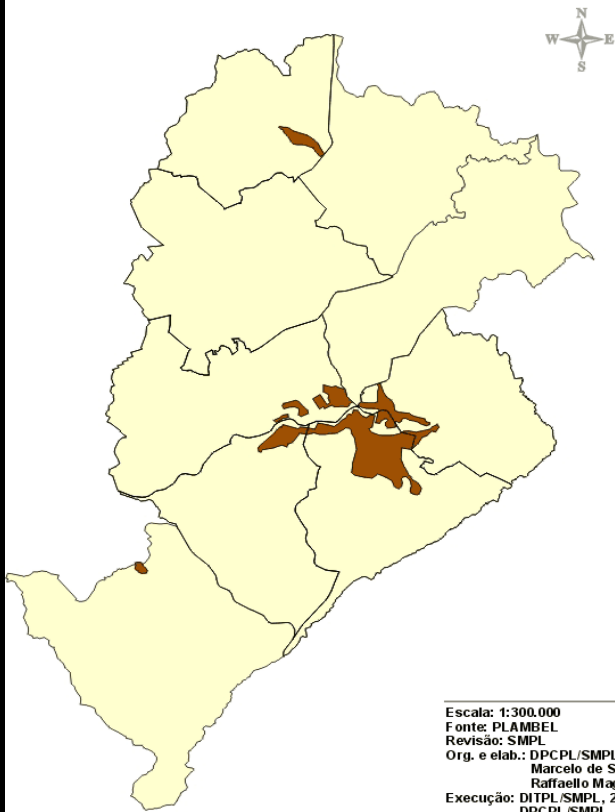


Impermeabilização



1918

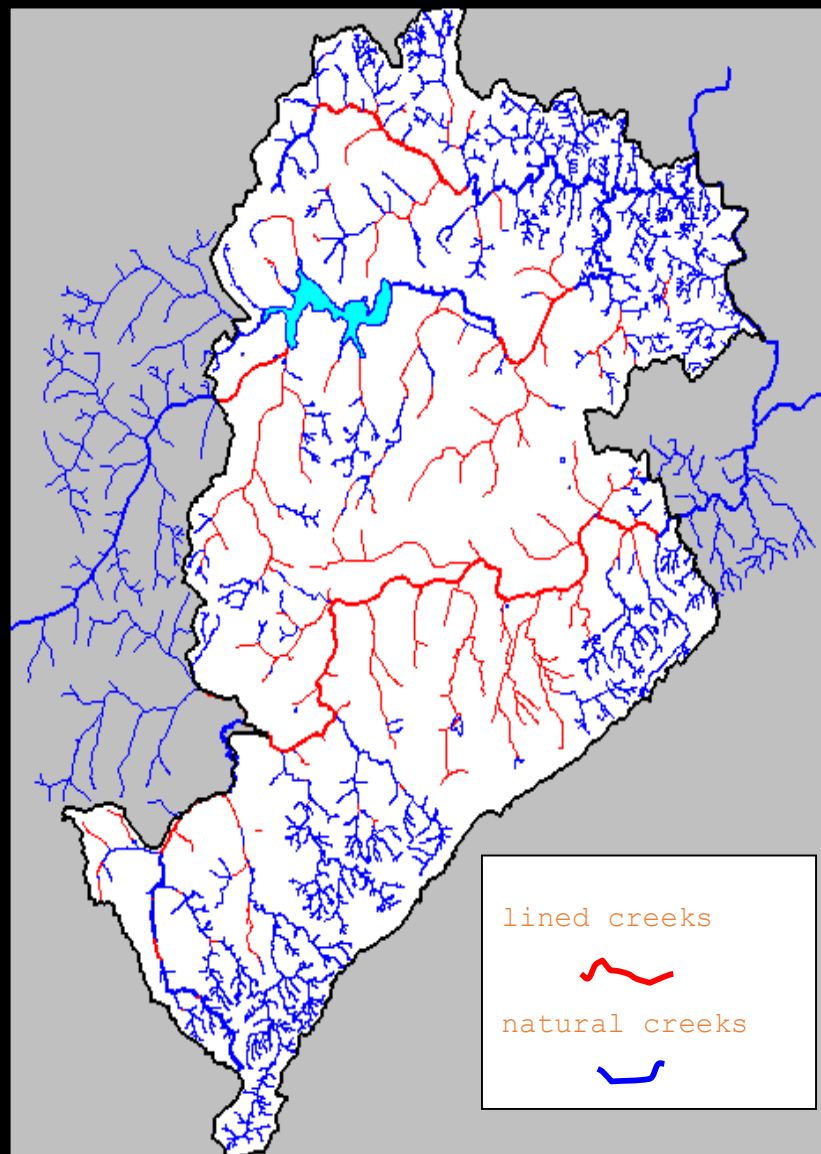
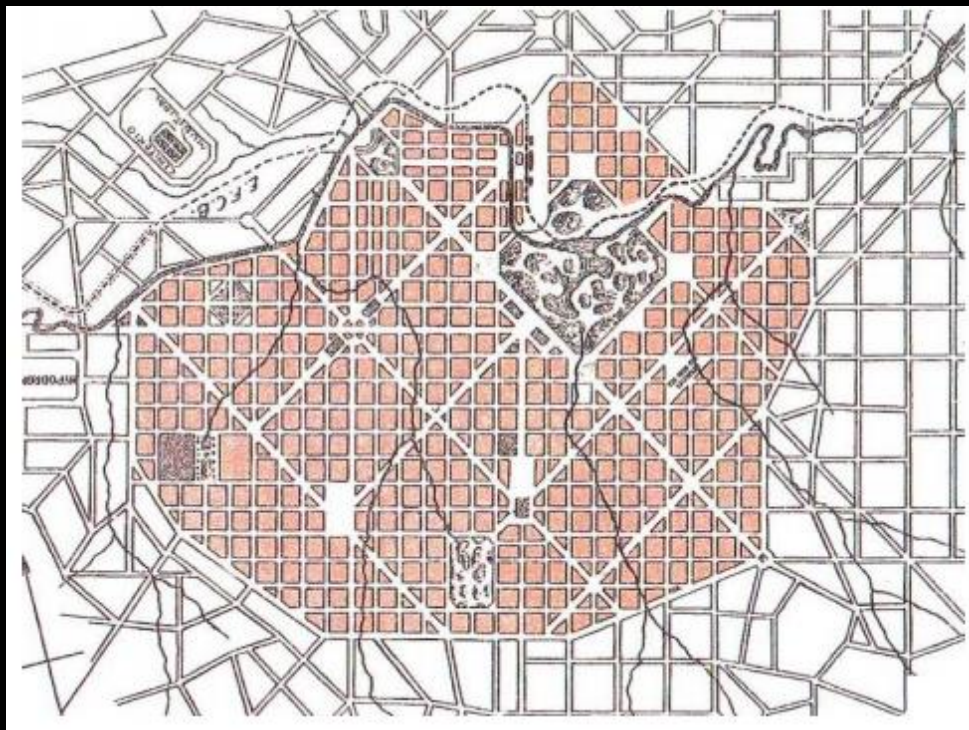
Belo Horizonte



1950: 32 %

2000: 94 %

→ Impermeabilização e ocupação dos leitos fluviais



Ribeirão Arrudas



Rios urbanos: contexto e desafios atuais

- ✓ Conscientização ambiental
 - Compreensão do papel da água



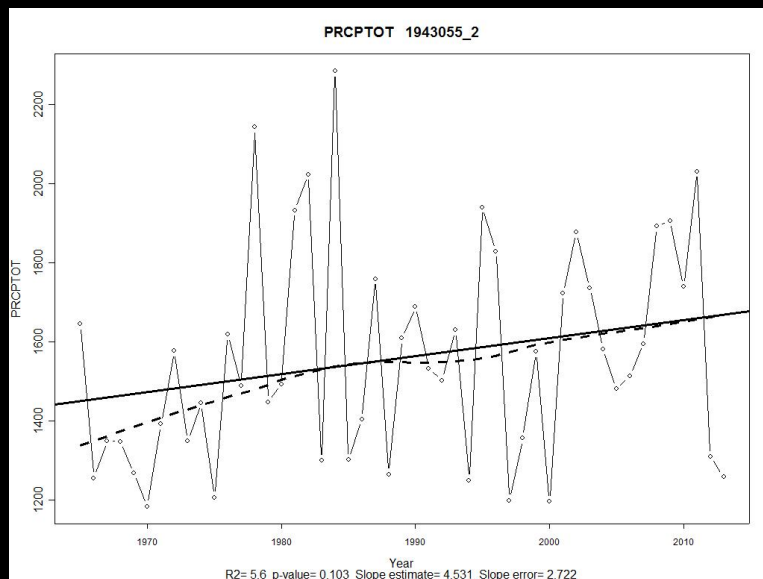
Rios urbanos: contexto e desafios atuais

Mudanças climáticas?

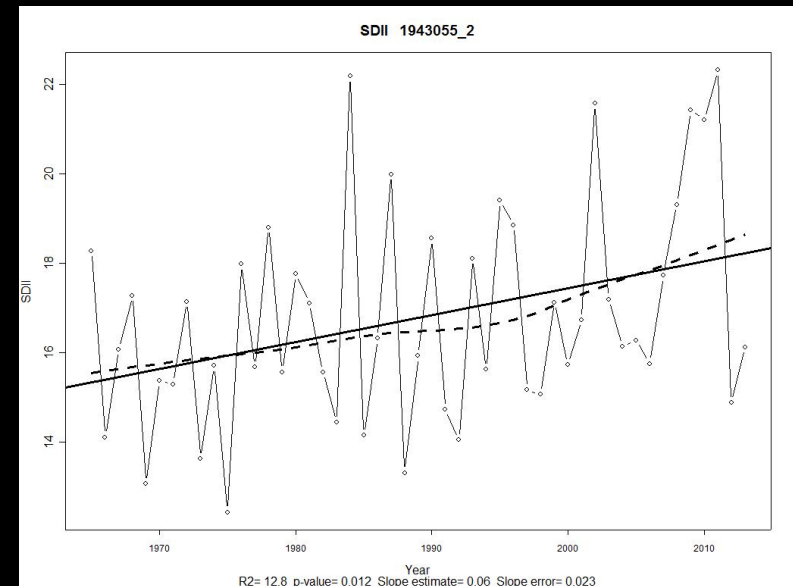
✓ Estação de Belo Horizonte (01943055)

Estudos de Nunes
et al. (2015)

Total annual rainfall on rainy days



Daily intensity index



Qual o impacto das mudanças do regime pluvial nas condições operacionais do sistema de drenagem?

Interesse na adaptabilidade das soluções de
Drenagem Urbana: “*no-regret strategy*”

Tendências

- Compensação e minimização dos impactos da urbanização
 - Utilização de *Técnicas Compensatórias*
- Adoção de medidas não estruturais
 - Regulamentação, zoneamento
 - Operação dos sistemas de drenagem
 - Sistemas de previsão e alerta
- Abordagem ambiental no tocante aos rios urbanos
 - “canalização” → “tratamento de vale”



Características de adaptabilidade e sustentabilidade

Nova abordagem: tratamento de vale

Conceitos

- **Curso de água natural:**

capaz de desempenhar, por sua própria configuração – leito, margens e curso – sem interferências antrópicas, as funções:

- Assegurar o fluxo contínuo das águas e do material hidrotransportado, no sentido longitudinal e transversal
- Possibilitar condições naturais de ocupação temporária de áreas inundáveis
- Desempenhar papel ecológico diversificado

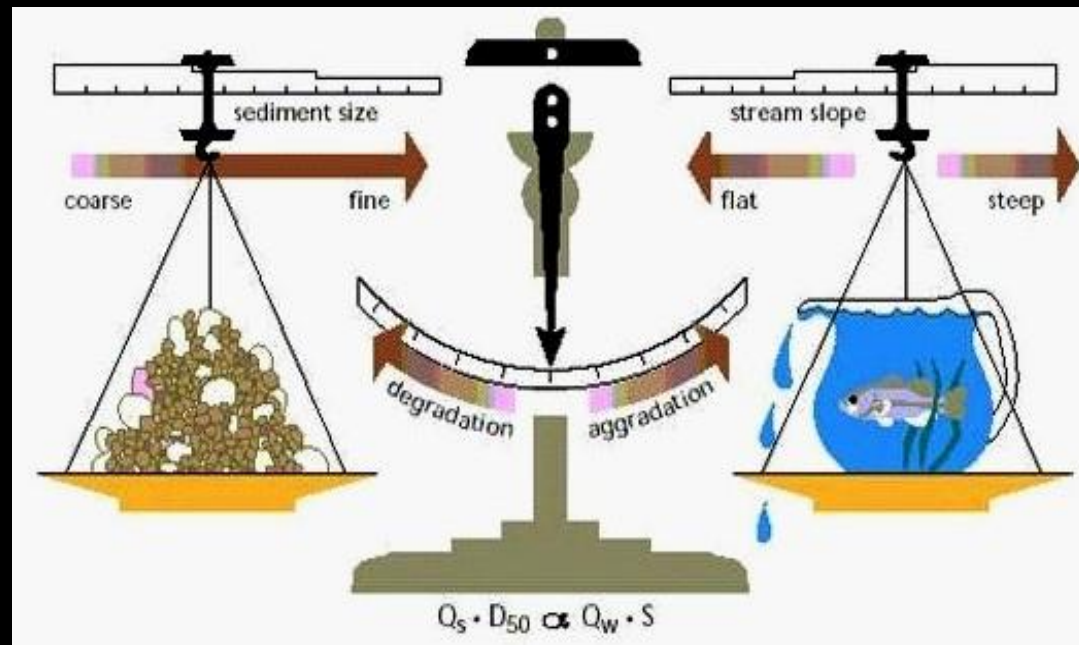
Tratamento de vale

Conceitos

- **Morfologia fluvial:**

A morfologia dos cursos de água – seção transversal, traçado e perfil longitudinal – corresponde a uma condição de **equilíbrio**:

- **Regime fluvial:** variação das vazões no tempo, com a alternância entre cheias e vazantes
- **Carga sedimentar:** movimentação dos materiais sólidos – erosão, transporte e sedimentação



Tratamento de vale

Conceitos

- **Curso de água em bacia urbanizada:**

- Alteração das condições hidrológicas, em termos de quantidade, qualidade e regime
- Alteração das condições de transporte de sedimentos e sólidos, em termos de quantidade e características físicas
- Alteração de características morfométricas – revestimentos, seção transversal e alinhamento – por intervenção antrópica (canalização, retificação...)

 **Ruptura do equilíbrio fluvio-morfológico natural**

 **Busca de nova situação morfométrica**

Tratamento de vale

Conceitos

Restauração:

Estabelecimento de melhores condições para ocorrência dos processos hidrológicos, geomorfológicos e ecológicos em um curso de água degradado, com a substituição e/ou implantação de componentes do sistema natural danificado

(Wohl et al., 2005)

Tratamento de vale

Conceitos

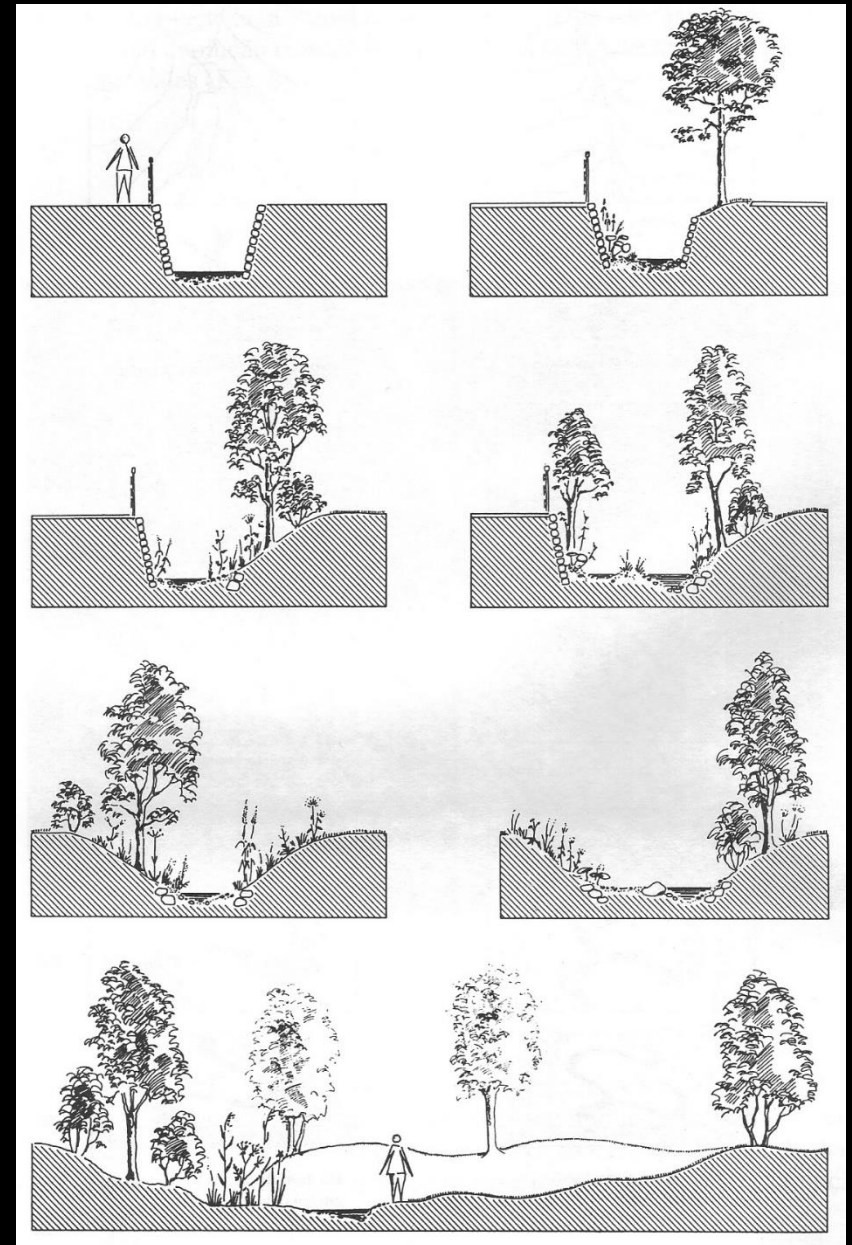
□ Objetivos práticos de uma restauração:

- Manutenção dos riscos de inundação em níveis satisfatórios
- Utilização preferencial de técnicas de engenharia mais integradas ambientalmente
- Estabelecimento de condições morfológicas típicas no leito e faixas marginais, preferencialmente com recomposição ou manutenção de matas ciliares (e.g. parques lineares)
- Estabelecimento de continuidade do curso de água, com a exclusão de barreiras antrópicas

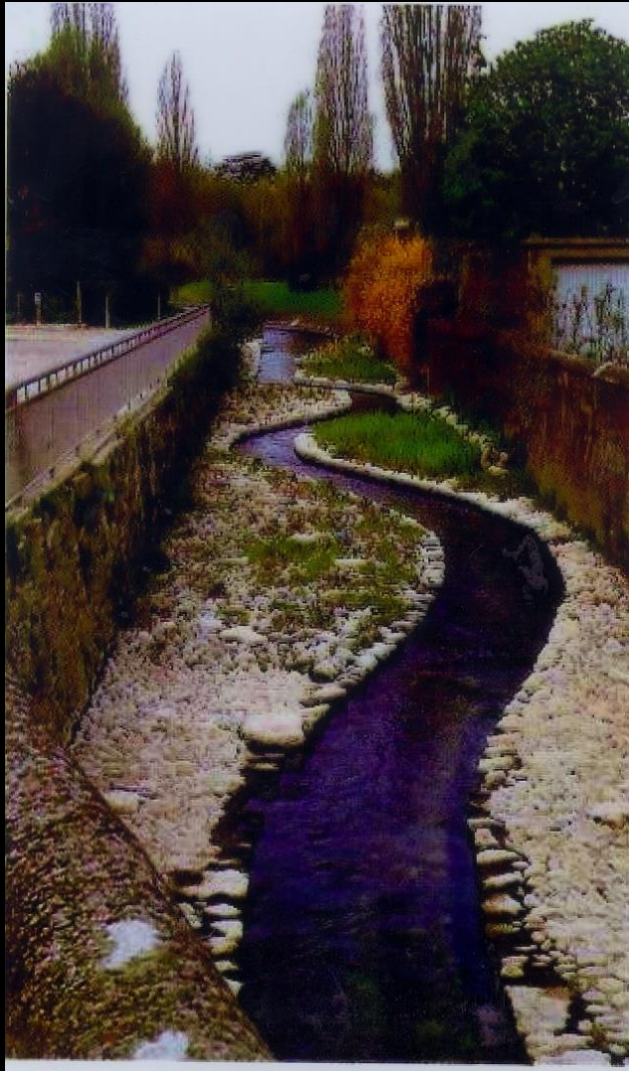
Tratamento de vale

Diversidade de soluções:

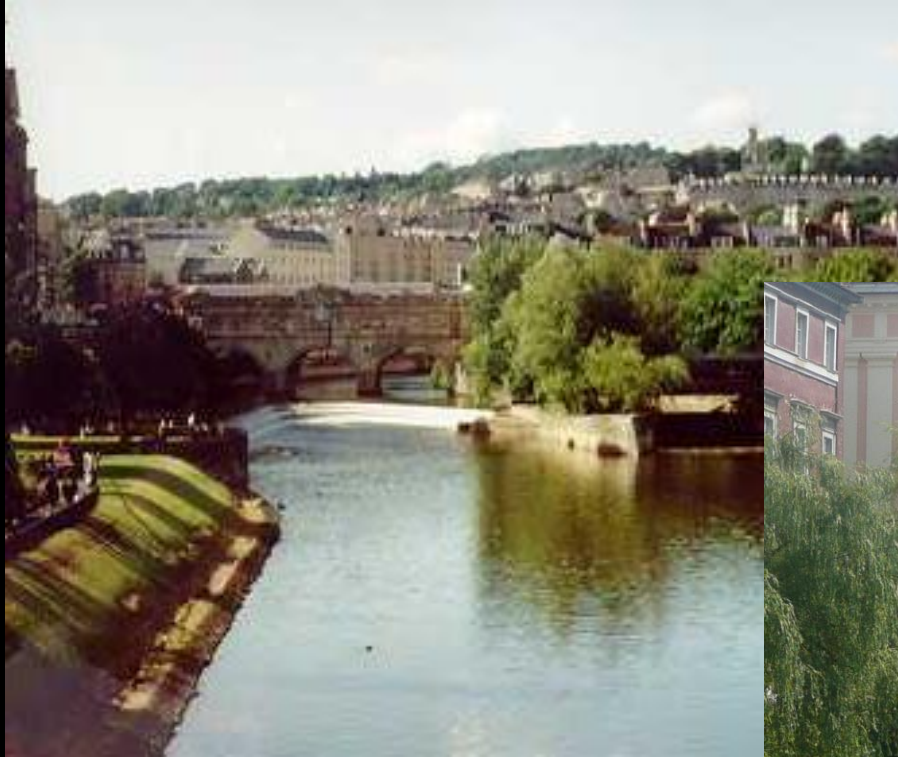
- ✓ Espaço disponível
- ✓ Uso do solo adjacente
- ✓ Vocação urbanística
- ✓ Equipamentos
- ✓ Materiais e revestimentos



Tratamento de vale



Tratamentos de vale



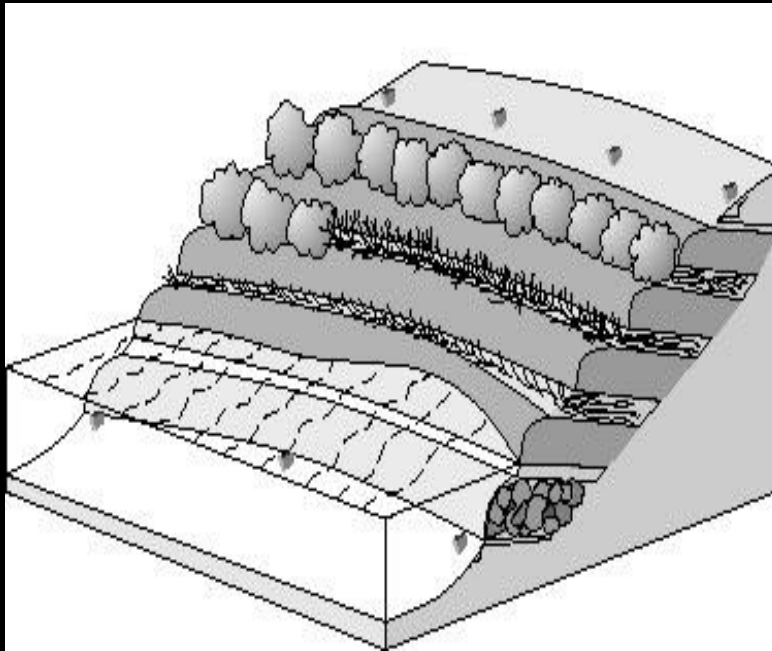
Tratamento de vale



Técnicas de revestimento

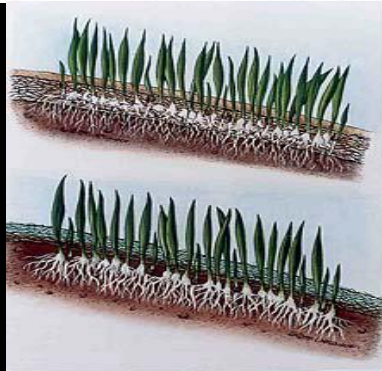
Solo envelopado

- Estruturas constituídas por geotêxteis e camadas de solo intercaladas com camadas de gramíneas
- Uso em declividades acentuadas
- Reforço do solo
- Aspecto harmonioso



Técnicas de revestimento

Rolos com fibras vegetais



Técnicas de revestimento

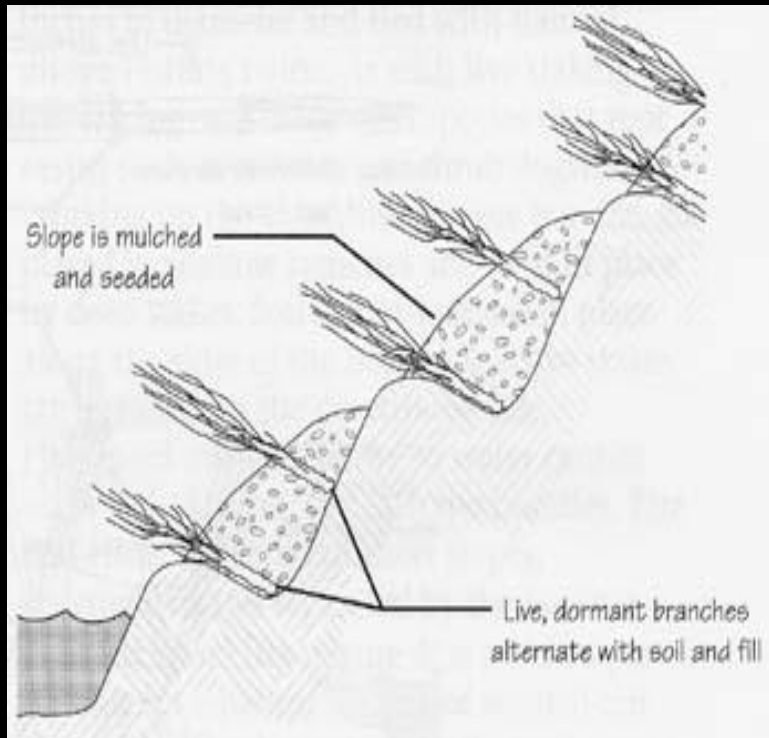
Rip – rap de pneus



Técnicas de revestimento

Estacas Vivas (*Brushlayering*)

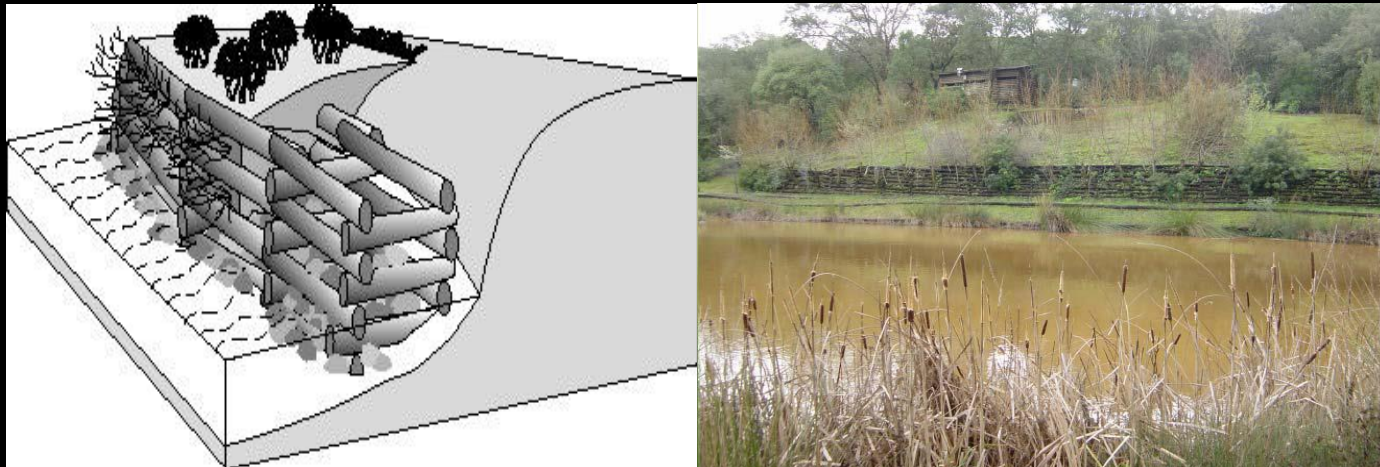
- Ramagens, em forma cruzada ou sobreposta, fixadas entre as camadas dos taludes que margeiam o rio
- O atrito raiz-solo estabiliza os taludes
- Aumento da aspereza – redução da velocidade



Técnicas de proteção longitudinal

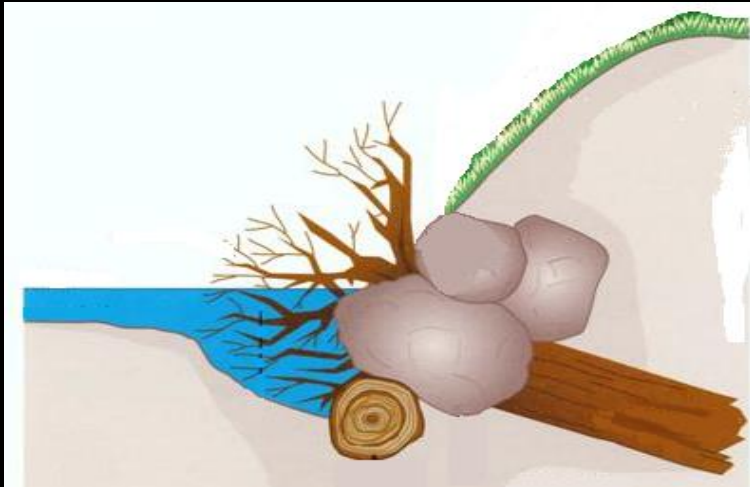
Estivas de madeira (*Cribwall*)

- Estrutura retangular, com troncos de árvores ligados e não tratados preenchida com solo, rochas e camadas de vegetação, de maneira a estabilizar a margem do rio
- Proporciona estabilização e controle da erosão nos pés de taludes
- Custo elevado e complexidade de instalação



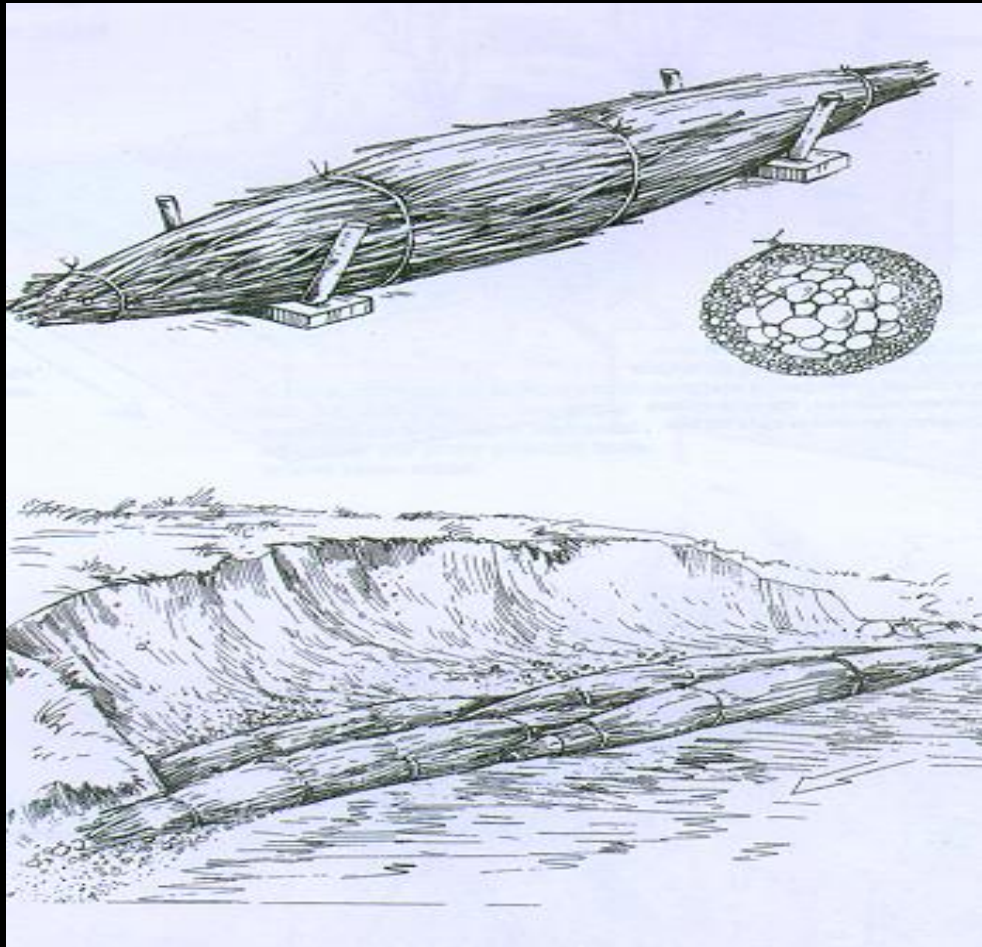
Técnicas de proteção longitudinal

Escoramento com troncos e pedras (Rootwads)



Técnicas de proteção longitudinal

Cilindros de faxinas e proteção com galhos



Combinação de técnicas de revestimento e proteção

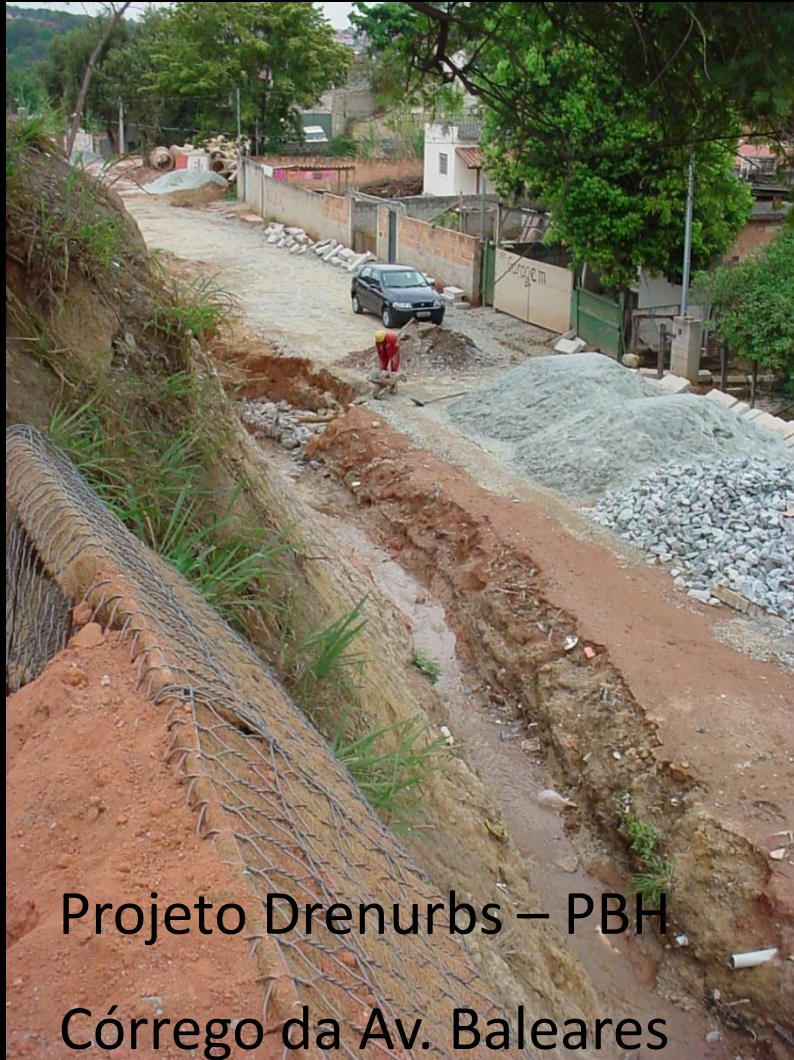
Enrocamento, solo envelopado e estacas vivas



Madeira, solo envelopado e estacas vivas



Aplicações práticas na RMBH



Parque Tecnológico -
BHTEC



Aplicações práticas na RMBH

Rio das Velhas

Revestimento de taludes com pneus



Aplicações práticas na RMBH Rio das Velhas



Aplicações práticas na RMBH

Rio das Velhas



Margem direita:

Madeira, solo envelopado
e estacas vivas



Aplicações práticas na RMBH

Rio das Velhas



Margem esquerda:

Resíduos de construção,
retaludamento e espigões



Aplicações práticas na RMBH

Rio das Velhas



Margem esquerda:
Resíduos de construção,
retaludamento e espigões



Aplicações práticas na RMBH

Rio das Velhas

Visão das margens aos 12 meses do plantio



Aplicabilidade das Técnicas

	Concreto	Gabiões caixa	Gabiões manta	Enrocamento	Solo reforça do	Estacas vivas	Faxinas	Proteção com galhos de árvores	Biomanta
Velocidade média do escoamento									
<1m/s	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1 - 2,5 m/s	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
2,5 – 4 m/s	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗
4 – 6 m/s	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗
Declividade das margens									
< 1,5H:1V	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
> 1,5H:1V	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Próximos à vertical	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Custos unitários de Implantação e Manutenção (R\$)

Técnica	Custo de implantação (CI)	Custo de Manutenção (CM)
Galeria de concreto	384,2A+1820	0,84A+104,91
Revestimento em concreto	416,61 P	0,84 P +77,57
Revestimento em grama	63,88 P	81,87 P
Revestimento em enrocamento	83,93 P	0,40 P +77,57
Revestimento em gabião caixa	256,59P	1,78 P +77,57
Revestimento em gabião manta	94,35 P	0,50 P +77,57
Revestimento com biomanta	12,76 P ± 79%	1,92±79%****
Estacas	67,72 P ± 76%	10,16P±76%****
Faxinas ou biorretentores	71,30 P ± 66%	7,13P±66%****
Solo reforçado	146,84 P ± 41%	2,94P±40%****
Proteção com galhos	268,91 P ± 35%	13,45P±35%****
"Cribwall"	522,34 P ± 75%	26,14P±75%****
Enrocamento arrumado*	47,43 P ± 29%	0,95P±28%****
Gabião caixa*	252,48 P ± 19%	5,05P±19%****
Gabião manta*	84,29 P ± 12%	1,70P±13%****
Gabião saco**	80,88	1,62P****
"Rootwads"***	399,95 ± 82%	20,00P±82%****
Enrocamento lançado***	75,31 ± 46%	1,51P±46%****

Variáveis: A – área da seção transversal (m²)
P – perímetro da seção transversal (m)

Observações:

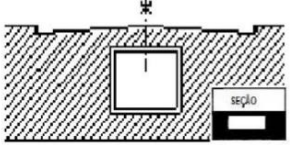
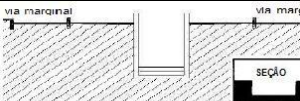
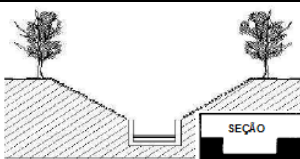
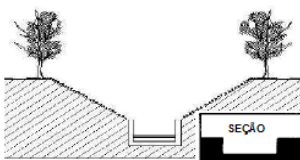
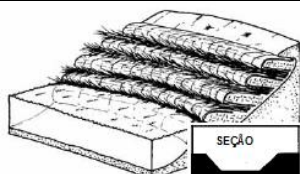
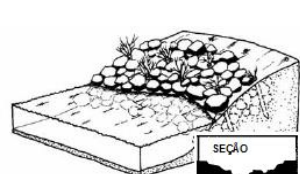
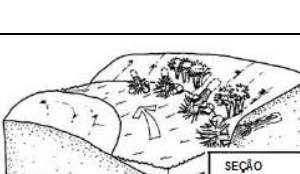
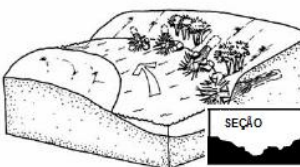
- * Valores para aplicação pontual.
- ** Valor por metro linear de intervenção
- *** Valores em toneladas
- **** Custos relativos a período de três anos

Vida útil

Técnica	Vida útil (anos)	Técnica	Vida útil (anos)
Galeria de concreto	50	Solo reforçado	10 - 15
Canal em concreto	50	Proteção com galhos	5 - 10
Canal revestido com grama	30	<i>Cribwall</i> (madeira)	3 a 15
Gabião	10 a 30	Enrocamento arrumado	20
Biomantas	2 - 5	Enrocamento jogado	20
Faxinas ou biorretentores	6 - 12	<i>Rootwads</i>	5 - 15

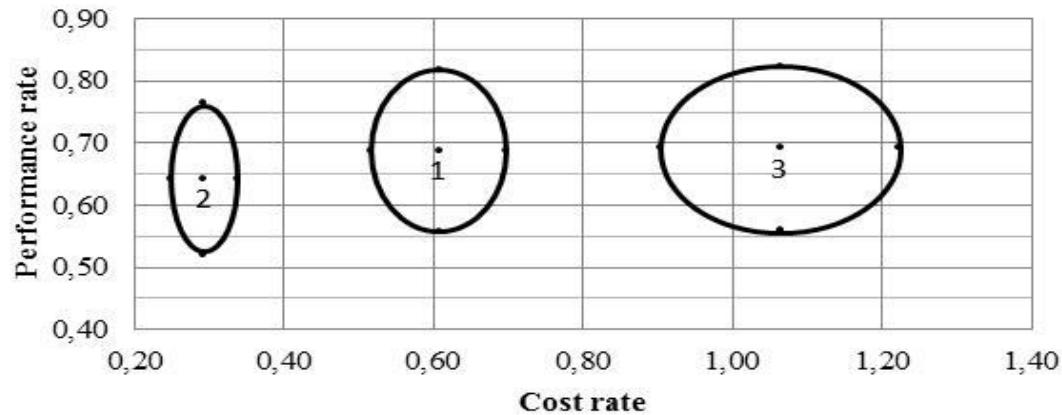
Integração socioambiental

$$I_{IA} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i L_i}{\sum L_i}$$

Tipo	k	Características	Geometria da seção
Intervenção rígida e não permeável com canalização em seção fechada.	0	Revestimentos impermeáveis em toda a seção impossibilitando toda interação com lençol freático e outros processos ecológicos, com a supressão de outros usos potenciais dos cursos de água. Exemplo: Galeria em concreto,	
Intervenção rígida e não permeável de margens em seção aberta.	0,1	Adoção de revestimentos que alteram significativamente a seção transversal e reduzem as irregularidades do leito e/ou margens com aumento da velocidade do escoamento e interrupção do fluxo entre o canal e o lençol freático, Exemplos: Canais em concreto e outros revestimentos impermeabilizantes.	
Intervenção rígida não permeável de margens em seção aberta, porém com áreas verdes marginais.	0,3		
Intervenção rígida e permeável de margens.	0,4		
Intervenção rígida e permeável de margens com áreas verdes marginais.	0,5	Revestimentos estruturantes para estabilização das margens, com manutenção do fluxo entre canal e lençol freático, com grande movimentação do solo das margens e alteração da forma da seção transversal. Exemplos: Canais em gabiões tipo caixa	
Intervenção flexível e permeável de margens.	0,6	Revestimentos com conexão entre canal e lençol freático, porém com alteração da seção transversal. Grande movimentação de solo, mas podendo-se proporcionar o desenvolvimento de espécies vegetais. Exemplos: gabiões tipo manta ou colchão, biomantas.	
Intervenção flexível e permeável de margens, com áreas verdes marginais.	0,7		
Intervenção flexível e permeável de margens, adaptada à forma natural da seção transversal do rio.	0,8	Revestimentos que permitem o fluxo entre o canal e o lençol freático, assim como estabilização das margens com maior adaptabilidade à seção natural do rio, possuindo alto coeficiente de rugosidade e possibilidade de crescimento de vegetação. Exemplos: enrocamentos, biomantas.	
Intervenção flexível e permeável de margens, adaptada à forma natural da seção transversal do rio e manutenção de área verde marginal.	0,9		
Intervenção com uso de materiais naturais e manutenção da permeabilidade e irregularidades das margens.	1,0	Intervenções que acrescentam ou mantêm as irregularidades no leito e margens com galhos, pedras e vegetação, aproximando-se da situação natural. Permitem o fluxo entre o canal e o lençol freático e estabilizam as margens com materiais naturais, com reduzida escavação das margens e uso de equipamentos. Exemplos: enrocamentos, revestimentos vegetais.	

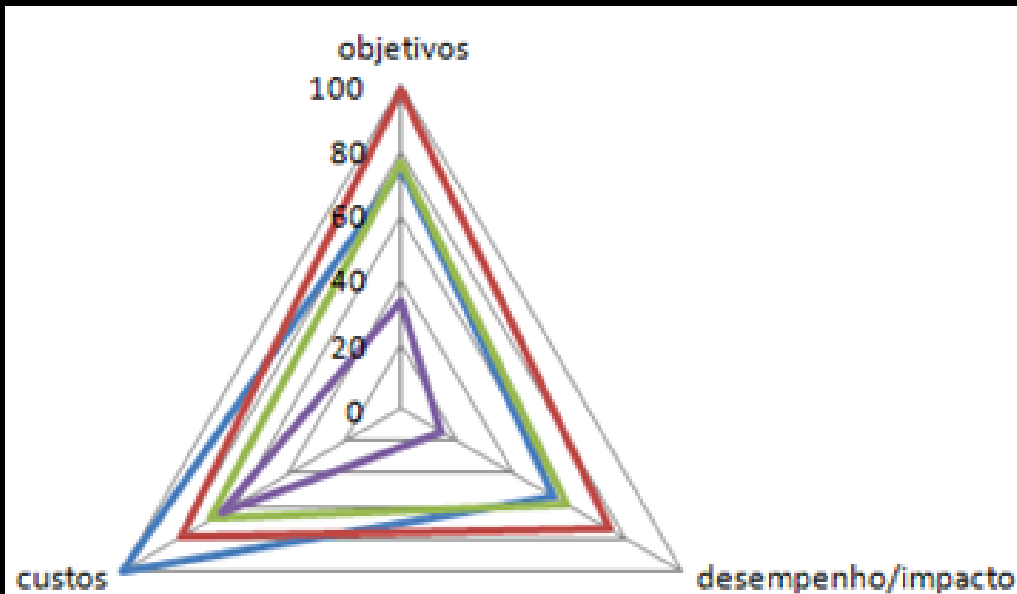
Análise Multicriterial

Pareto chart



• 1 - Intermediate interv. • 2 - Tradicional interv. • 3 - Environmental interv.

EVANGELISTA, 2011



CARDOSO, 2012



Grato pela atenção

marcio.baptista@ehr.ufmg.br