



**II Congresso Internacional de Riscos  
VI Encontro Nacional de Riscos**  
Coimbra, 22 a 25 de Maio de 2010

**Proposta de Quantificação do Risco Associado a Cenários de Dano  
Vulneráveis em Redes de Abastecimento de Água**

**Jorge Pinto (UTAD); Humberto Varum (UA); Isabel Bentes (UTAD)**

# OBJECTIVO

Propor uma metodologia de **quantificação do risco** associado a cenários vulneráveis de dano em redes de abastecimento de água (**RAA**) e evidenciar como a teoria da vulnerabilidade de redes de abastecimento de água (**TVRAA**) poder ser útil neste contexto.

# Relevância da TVRAA

- Identificação das partes mais vulneráveis das RHAA
- Auxiliar no projecto de RHAA de forma a torná-las mais robustas
- Auxiliar na gestão mais eficiente das RHAA

- O conceito de **vulnerabilidade** está associado à desproporcionalidade passível de existir entre esforço e dano resultante.
- A acção que origina esse esforço pode ser de qualquer tipo incluindo **erro humano** ou **sabotagem**.



**Setúbal, 22/11/2007**

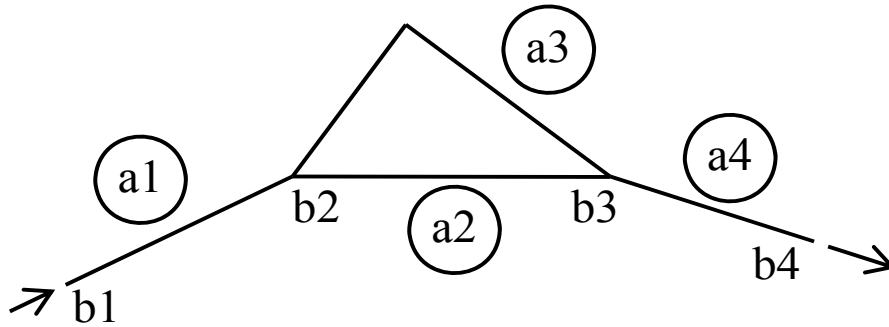


**Jamor, 18/02/2008**

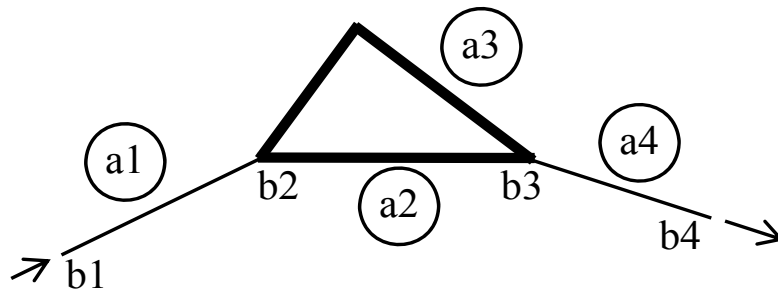


**Rio Tinto, 12/01/2010**

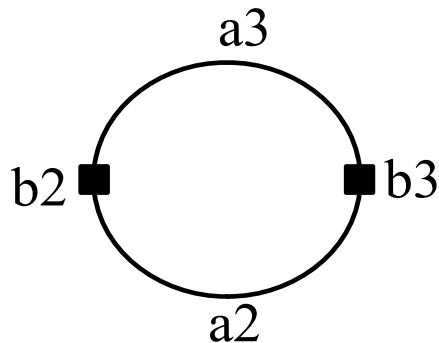
# ALGUNS CONCEITOS TEÓRICOS DA TVRAA



Uma RAA é um sistema

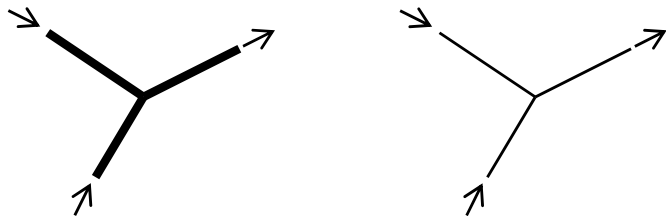


Sub-RAA

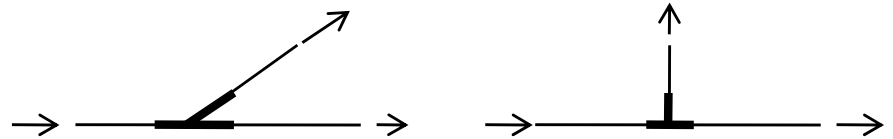


Anel de RAA

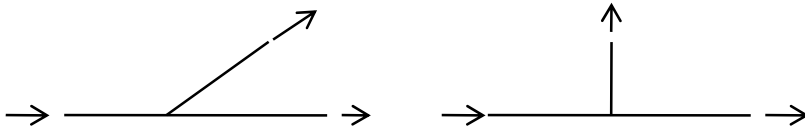
# Qualidade de forma



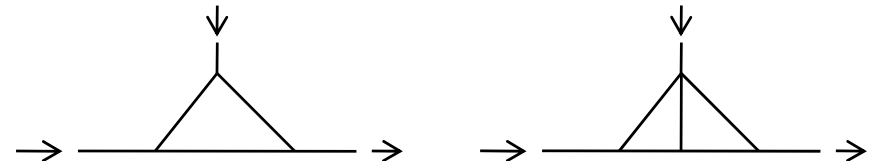
**Rigidez**



**Tipo de união**



**Orientação entre troços**



**Quantidade de ligações**

- A aplicação da TVRAA é composta essencialmente por **três etapas**:
  - A. Processo de aglutinação
  - B. Representação da RAA através de um modelo hierárquico
  - C. Processo de desaglutinação

# A. PROCESSO DE AGLUTINAÇÃO

- O processo de selecção de candidatos do processo de aglutinação recorre a **cinco critérios** de selecção:
  1. *Menor perda de carga total*
  2. *Máxima capacidade resistente ao dano*
  3. *Máxima conexão nodal*
  4. *Máxima distância ao reservatório*
  5. *Escolha Livre*



## B. MODELO HIERÁRQUICO

- O modelo hierárquico de uma RAA corresponde a uma representação **abstracta** dessa RAA em que as sub-RAA estão arrumadas em termos da sua qualidade de forma
- A leitura de um modelo hierárquico de uma RAA deve ser feita de **baixo para cima**
- A sub-RAA do **topo superior** de um modelo hierárquico de uma RAA é aquela que foi a última a ser definida no processo de aglutinação e representa toda a RAA incluindo o reservatório (sub-RAA de origem)

# C. PROCESSO DE DESAGLUTINAÇÃO

- O processo de desaglutinação corresponde à terceira e última **etapa** da aplicação da TVRAA a uma RAA
- É através deste processo, que os **cenários de dano vulneráveis** de uma RAA são identificados
- Este processo tem como **base** o modelo hierárquico da RAA pré-definido
- A desaglutinação do modelo hierárquico de uma RAA é processado no **sentido descendente** e tem início na última sub-RAA definida no processo de aglutinação, procurando em cada anel de rede um possível evento de dano
- À semelhança do processo de aglutinação também o processo de desaglutinação assenta num conjunto de **7 critérios de selecção**

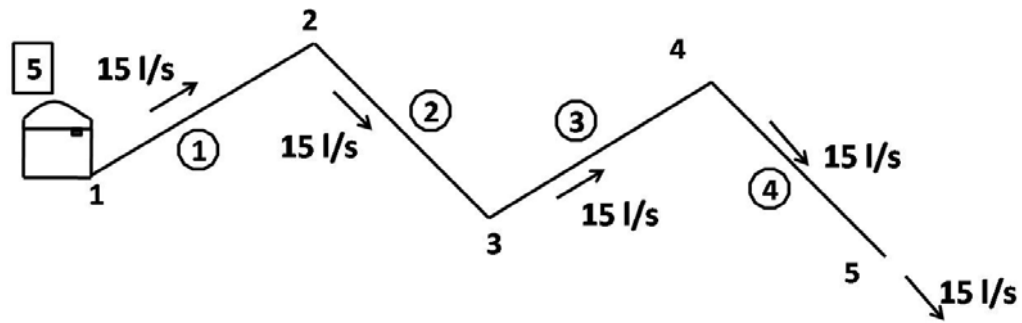
# C. PROCESSO DE DESAGLUTINAÇÃO

- Os **critérios de desaglutinação** são os seguintes por ordem de importância:
  1. A sub-RAA não é uma sub-RAA de referência (*Sub-RAA de referência* é o(s) reservatório(s))
  2. A sub-RAA está ligada directamente à sub-RAA de referência
  3. Seleccionar uma sub-RAA primitiva (troço) em detrimento de uma sub-RAA
  4. A sub-RAA apresenta o maior valor de perda de carga total
  5. A sub-RAA tem o menor valor de capacidade resistente ao dano
  6. A sub-RAA foi aglutinada posteriormente
  7. Escolha livre

# Cenários de dano vulneráveis

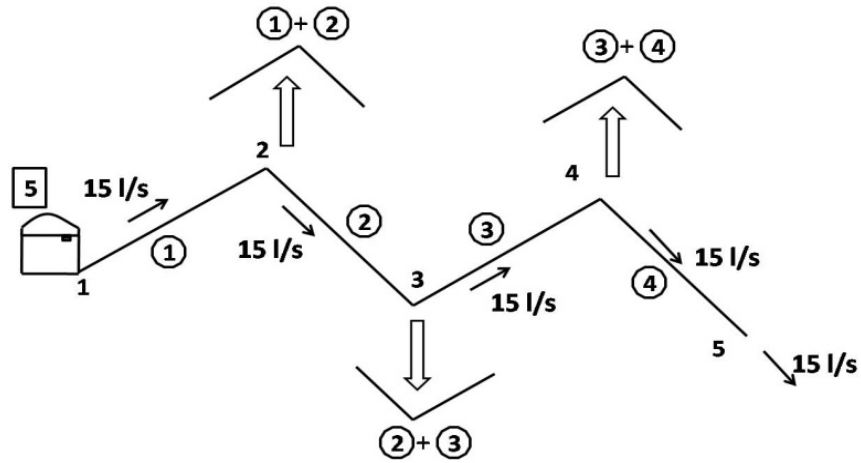
- *Colapso total*
- *Máxima vulnerabilidade*
- *Mínima vulnerabilidade*
- *Menor esforço para haver dano*
- *De interesse*

# APLICAÇÃO DA TVRAA A UMA RAA

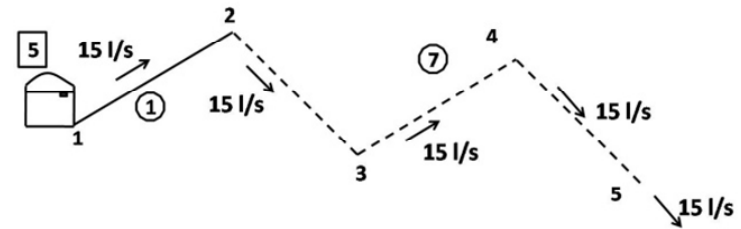
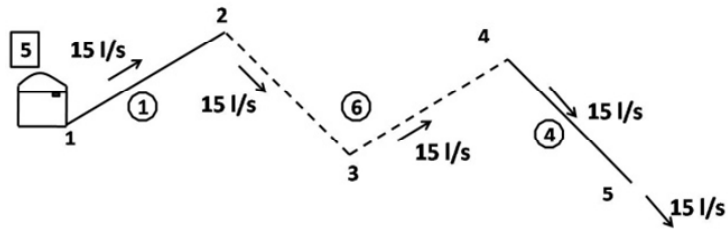


Sub-RAA primitiva (troço)	Nós	Comprimento (m)	Caudal (l/s)	Dcom (mm)	Dint (mm)	$\Delta H_T^-$ (m.c.a.)	$E$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1; 2	200	15	160	150.6	0.84	6
2	2; 3	200	15	160	150.6	0.84	6
3	3; 4	200	15	160	150.6	0.84	6
4	4; 5	200	15	160	150.6	0.84	6

Troço	Cota topográfica (m)		Cota Piezométrica (m.c.a)		Altura Piezométrica (m.c.a)	
	M	J	M	J	M	J
1	163.68	130.00	293.68	165.84	3.00	35.84
2	130.00	140.00	270.00	165.00	35.84	25.00
3	140.00	130.00	270.00	164.16	25.00	34.16
4	130.00	135.00	265.00	163.32	34.16	28.32

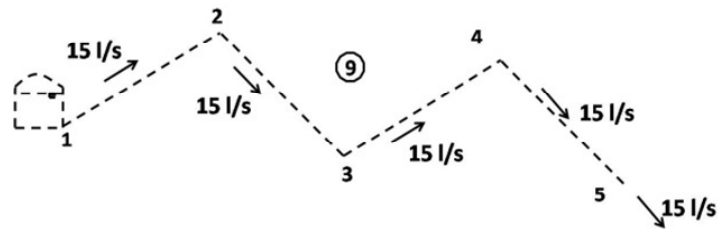
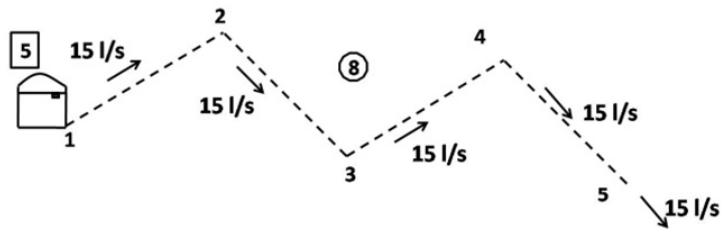


Passo	Candidato a sub-RAA	Perda carga (m)	Esforço de dano (Kg/cm <sup>2</sup> )	Conexão	Distância ao reservatório (m)	Sub-RAA que se forma
1	1+2	1.68	12	1	0	—
	2+3	1.68	12	2	200	6
	3+4	1.68	12	1	400	—



○ Passo 1: formação da sub-RAA 6 (2+3)

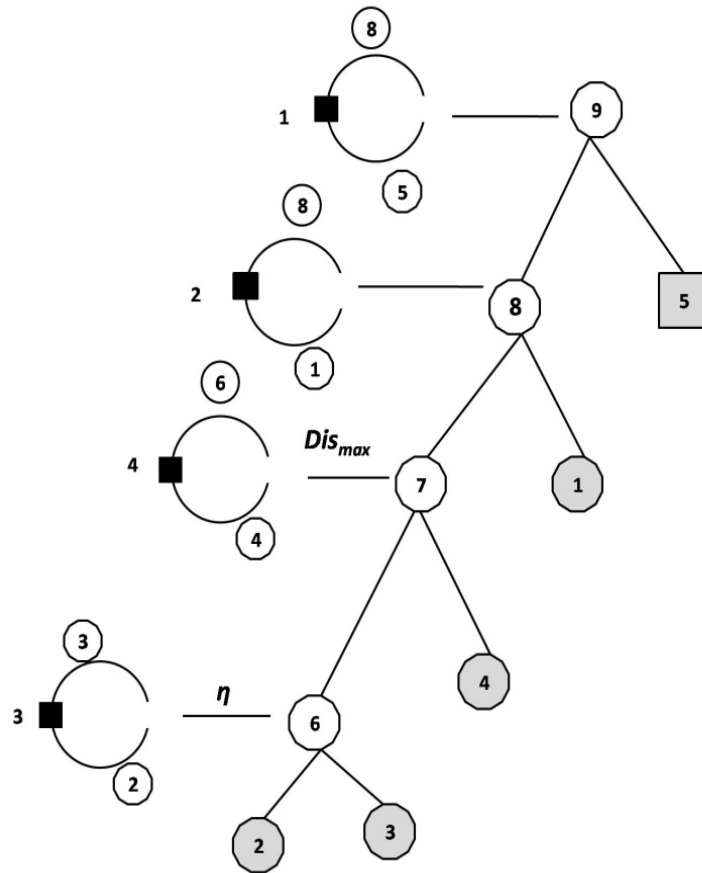
○ Passo 2: formação da sub-RAA 7 (6+4)






○ Passo 3: formação da sub-RAA 8 (1+7)

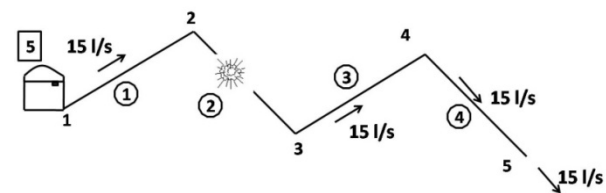
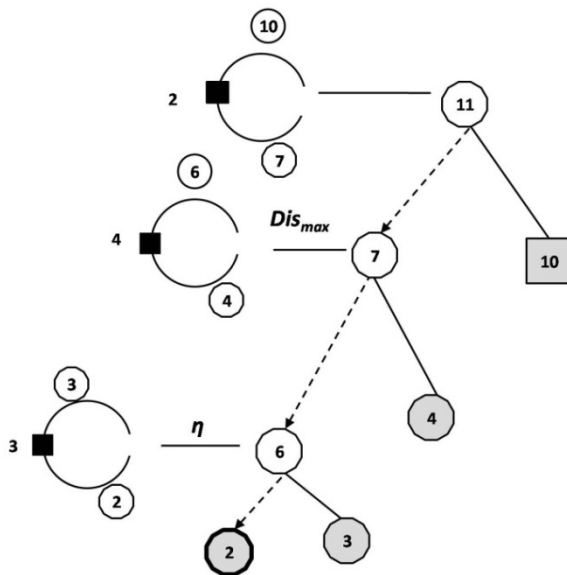
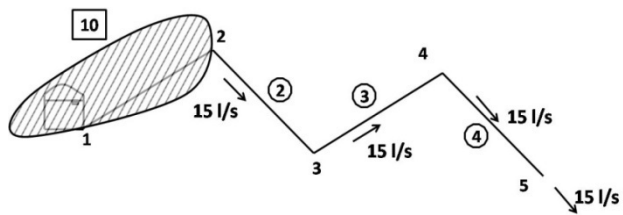
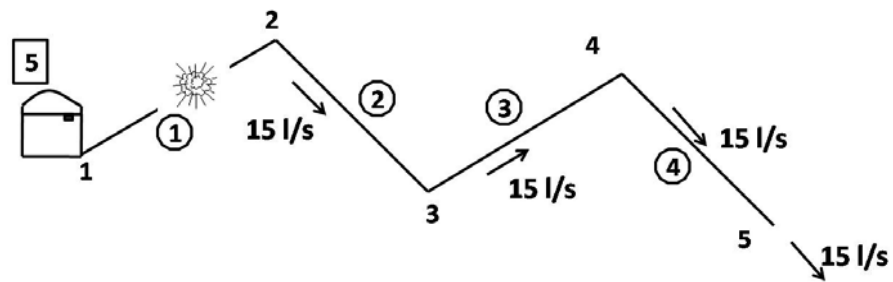
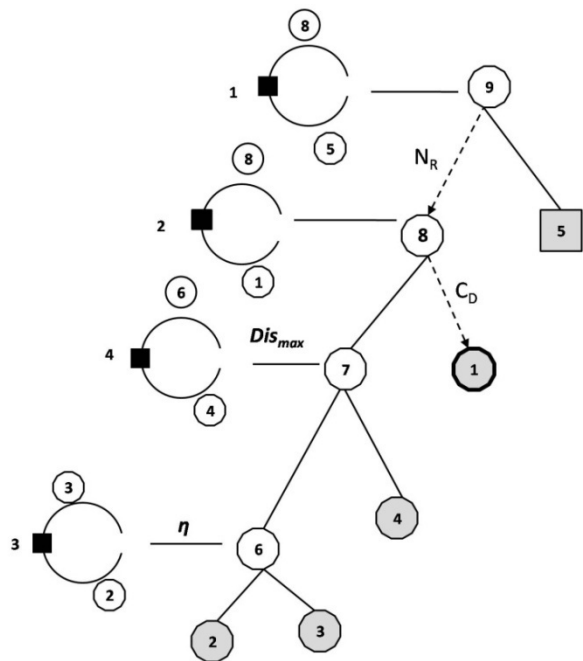
○ Passo 4: formação da sub-RAA 9 (5+8)





Legenda:

-  Sub-RAA primitiva (troço)
-  Sub-RAA
-  Sub-RAA de referência (reservatório)

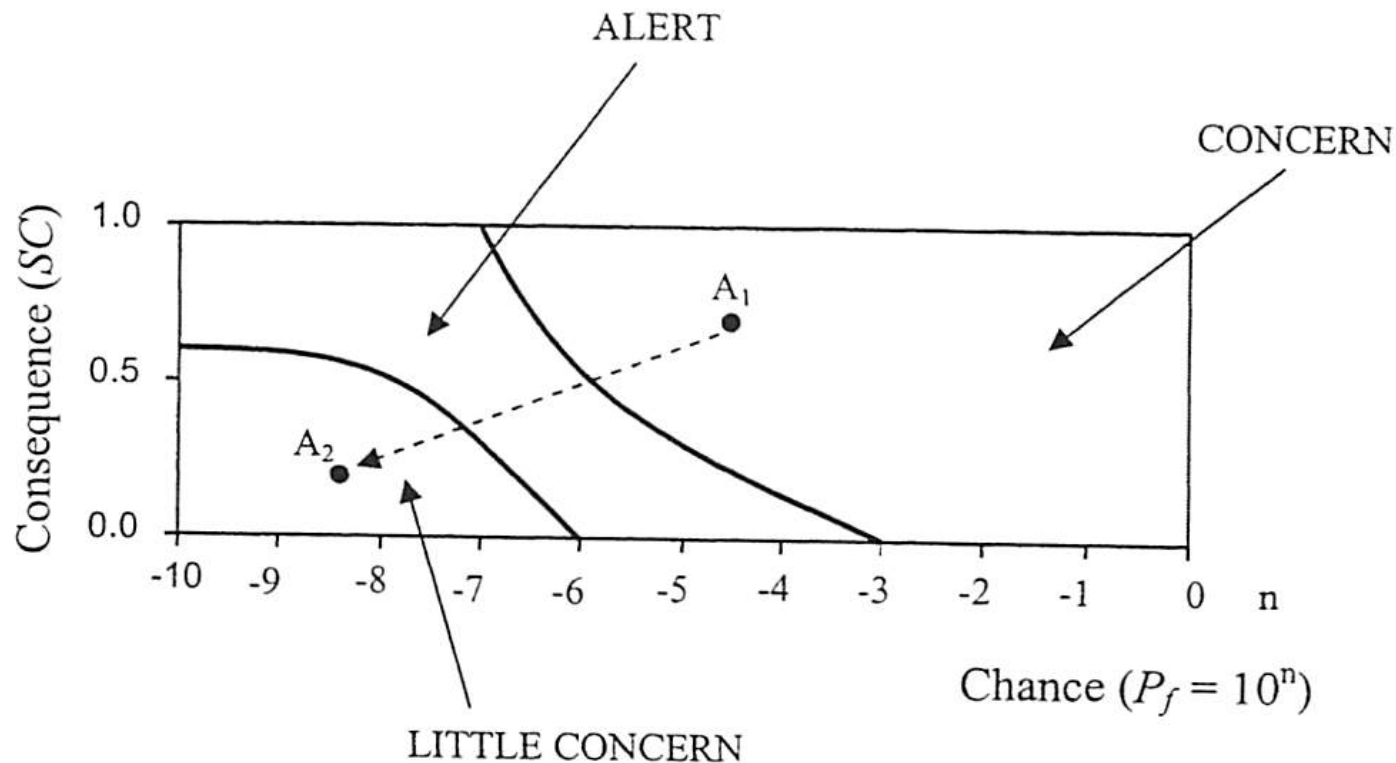


	Cenário de Dano	Perda de RAA relativa	Esforço da dano relativo	Índice de vulnerabilidade
1	T1	1	0.250	4
2	T2	0.750	0.250	3

# RISCO DE UM CENÁRIO VULNERÁVEL DE DANO EM RAA

$WR = pfw \times Wcon$ . Em que:  $pfw$  é a probabilidade de ocorrência de um cenário de dano vulnerável numa RAA e  $WCon$  é uma função de perda da perda de RAA

$$pfw = P(A \cap B) = P(A) \times P(B|A)$$



# CONCLUSÕES

- A TVRAA é uma teoria emergente cuja aplicação poderá contribuir para a obtenção de RAA mais robustas atendendo a que a(s) parte(s) mais vulnerável(eis) dessa RAA poderão ser identificadas.
- A aplicabilidade da TVRHAA foi demonstrada com o recurso a uma RAA simples e as suas potencialidades evidenciadas.
- Uma metodologia para quantificação do risco de dano associado a uma RAA foi apresentada. A quantificação da probabilidade de ocorrência de um cenário de dano vulnerável em RAA requer um trabalho de investigação aprofundado.