2nd INTERNATIONAL WORKSHOP
ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

"KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE"

WSD as a Sustainable Tool for the CP Practices: Water/Wastewater Minimization in Industrial Processes

Diagrama de Fontes de Água: Uma Ferramenta Sustentável para a P+L na Minimização de Águas e Efluentes Industriais

Reinaldo C. Mirre
reinaldomirre@hotmail.com

Lídia Yokoyama

Fernando L. P. Pessoa

Escola de Química – UFRJ

(School of Chemistry)

São Paulo, SP – Brazil

May 2009

Estrutura da Apresentação

(Structure of Presentation)

- Integração de Processos na Prevenção da Poluição

  (Process Integration in the Pollution Prevention)

- Objetivos *(Objectives)*

- Minimização de Efluentes Aquosos – DFA

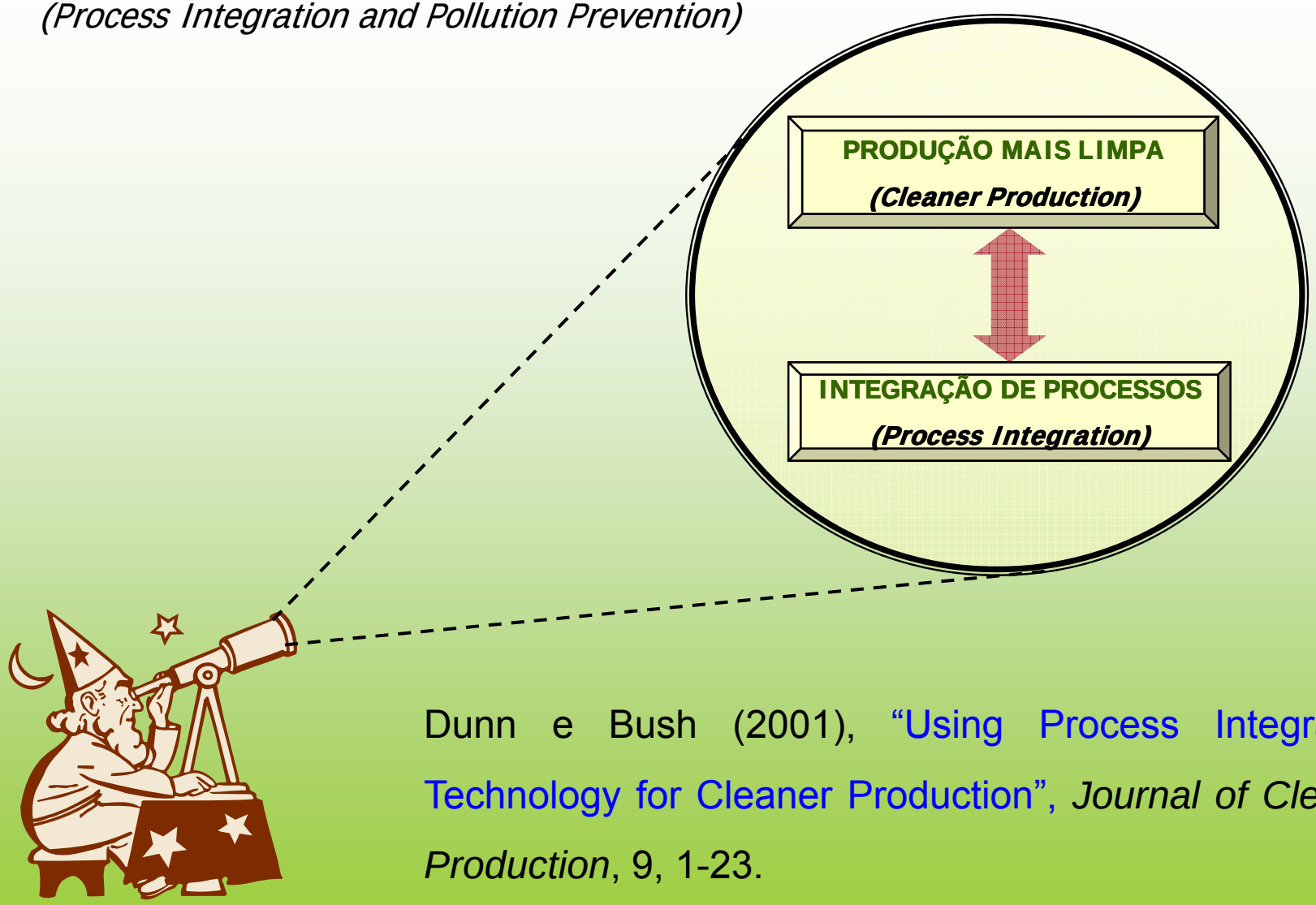
  (Water/Wastewater Minimization – WSD)

- Estudo de Caso *(Case Study)*

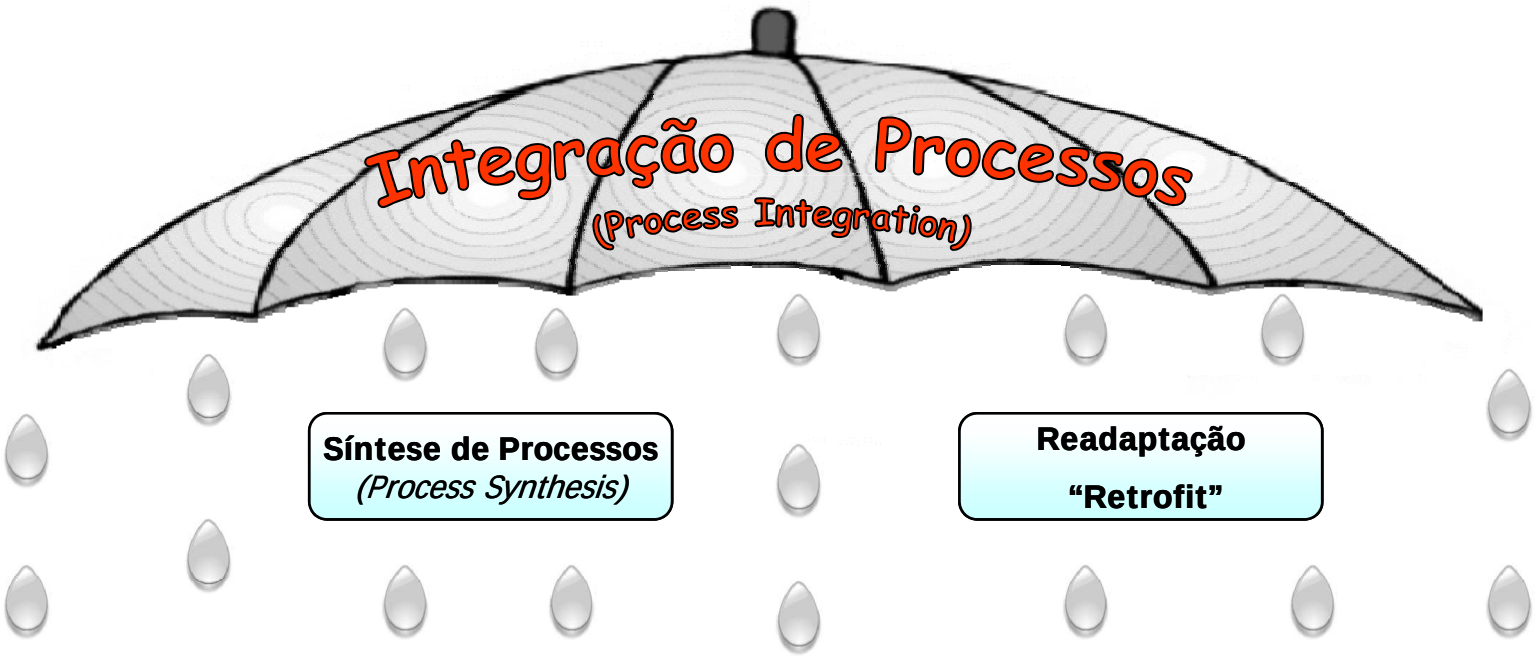
- Conclusões *(Conclusions)*

Integração de Processos e Prevenção da Poluição

(Process Integration and Pollution Prevention)



Dunn e Bush (2001), "Using Process Integration Technology for Cleaner Production", *Journal of Cleaner Production*, 9, 1-23.



Síntese de Processos
(Process Synthesis)

Readaptação
"Retrofit"

INTEGRAÇÃO MÁSSICA
(Mass Integration)

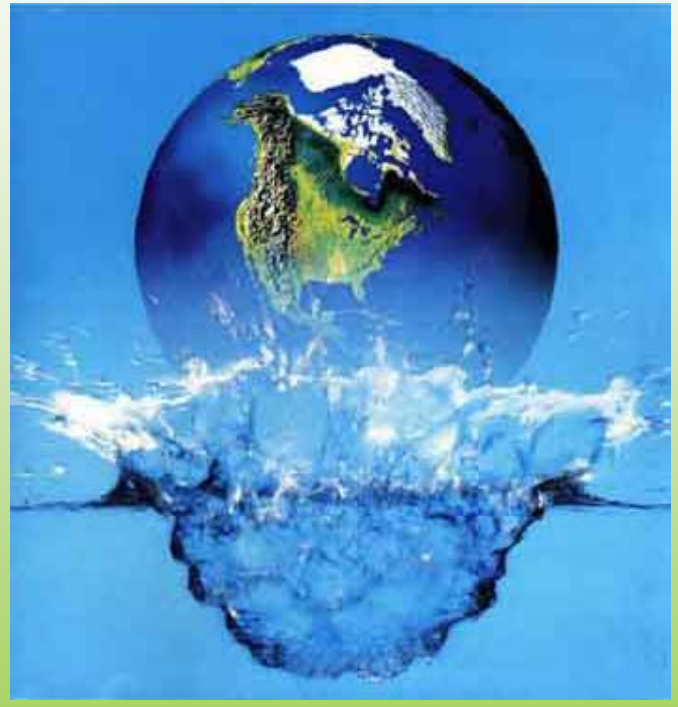
- **Minimização do uso de água**
  (Water Minimization)
- **Otimização no uso de hidrogênio**
  (Hydrogen Optimization)

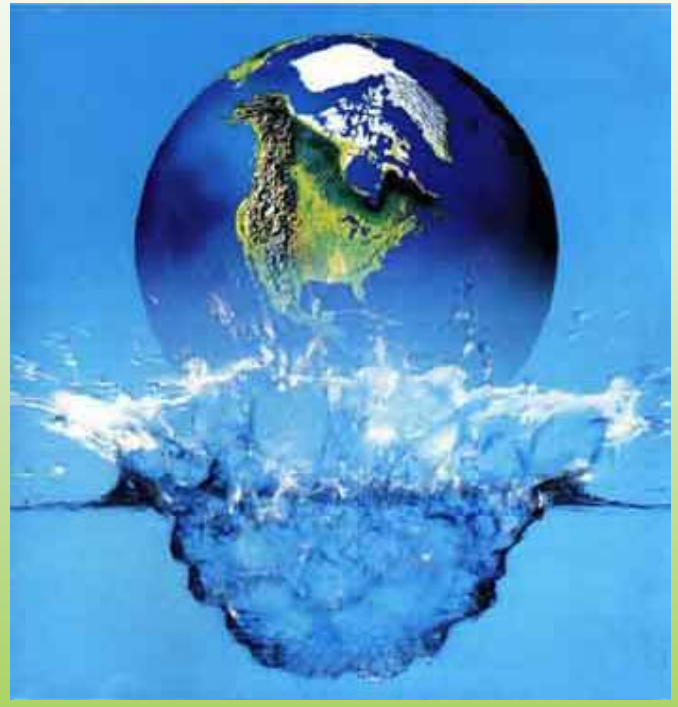
INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA
(Heat Integration)

- **Abordagem termodinâmica**
  (Thermodynamic approach)
- **Abordagem heurística**
  (Heuristic approach)
- **Abordagem por programação matemática**
  (Mathematical programing)

INTEGRAÇÃO MÁSSICA E ENERGÉTICA
(Mass & Heat Integration)

ADAPTADO DE
TECLIM / UFBA (2003)





Fim de Tubo *(end-of-pipe)*

Prevenir na Fonte! *(Prevention on source!)*

PRODUÇÃO MAIS LIMPA

(Cleaner Production)

DFA *(WSD)*

Diagrama de Fontes de Água

(Water Sources Diagram)

Gomes *et al*. (2007), "Design procedure for water/wastewater minimization: single contaminant", *Journal of Cleaner Production*, 15, 474-485.

Objetivos *(Objectives)*

- Apresentar o procedimento algorítmico Diagrama de Fontes de Água (DFA) como ferramenta sustentável de suporte às práticas de P+L

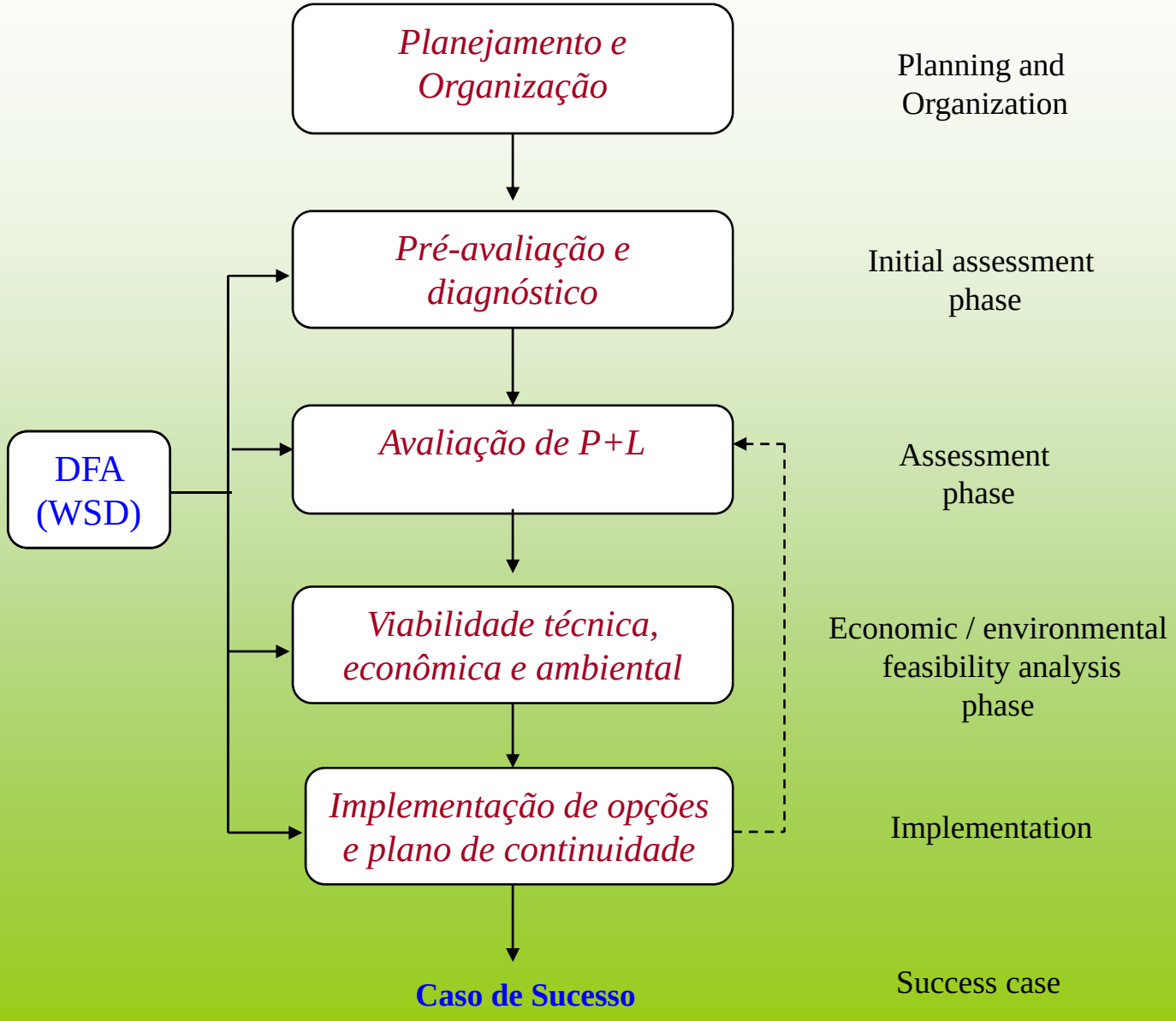
  (Presentation of algorithmic procedure Water Sources Diagram (WSD) as a sustainable tool for Cleaner Production practices)

- Ilustrar a aplicação do DFA com um estudo de caso de uma refinaria de petróleo, gerando proposta de reúso de águas e efluentes, tendo como meta o mínimo consumo de água

  (Show the application of WSD with a case study of an oil refinery, including water/wastewater reuse/recycle proposal to minimum water consumption)

Abordagem Produção mais Limpa / Integração de Processos

(Cleaner Production / Process Integration Approach)



Procedimento para Minimização de Vazão de Efluentes Aquosos

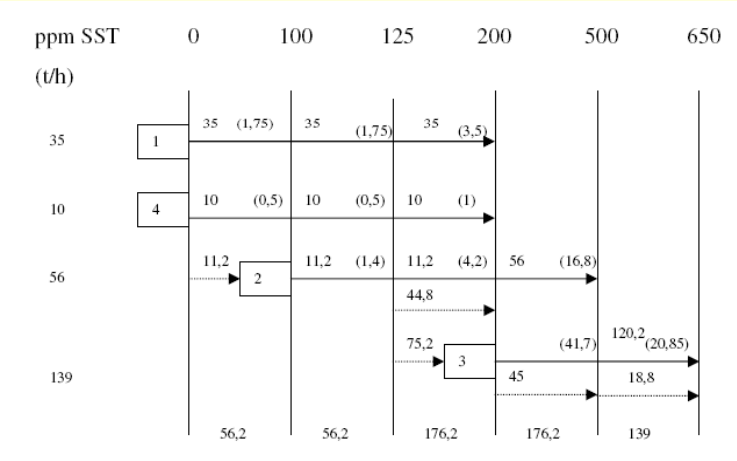
(Procedure for Water/wastewater flow rate minimization)

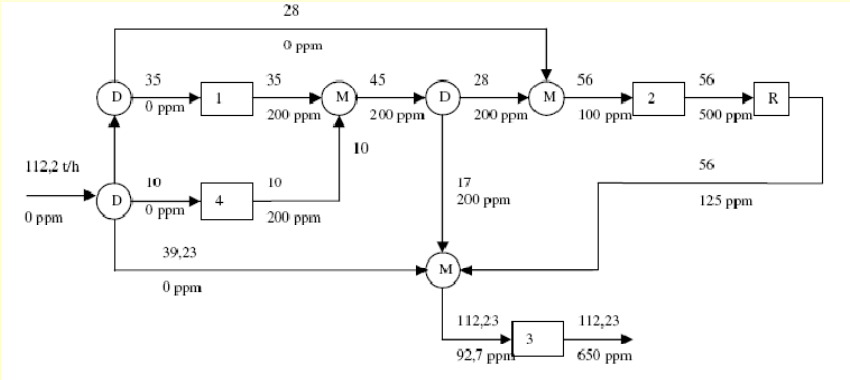
Integração de Processos aplicada à Minimização de Efluentes

(Process Integration applied to water/wastewater minimization)

Diagrama de Fontes de Água (DFA)

Water Sources Diagram (WSD)





DFA / WSD (Gomes, 2002; Gomes *et al*., 2007)

➔ Extensão do procedimento algorítmico de Castro *et al*. (1999)

(Extension from Castro et al. (1999) algorithmic procedure)

➔ Conceitos da Tecnologia *Pinch* (Wang e Smith, 1994)

(Pinch Technology concepts – Wang e Smith, 1994)

➔ Método algorítmico que segue a linha de métodos gráficos tipo fonte-sumidouro

(Algorithmic procedure based on source-sink graphical methods)

➔ Garantir o consumo mínimo de água considerando todas as combinações possíveis entre correntes

(To ensure water minimum consumption considering all possible combinations among streams)

➔ Consideração de múltiplos contaminantes na análise e múltiplas fontes de água

(Consideration of multiple contaminants and multiple water sources on analysis)

DFA

Ferramenta ... to de recursos
híd ... dustrial

(Tool for the ... the industry)

Cálculos rá ... *nand calculations)*

Geração simultâ ... vos para o processo.

(Simultar ... ss flowsheets)

Para cada situação, uma ferramenta diferente!

(Different tools can be used acording to requirements!)

Exemplo de Abordagem do DFA – Múltiplos Contaminantes

DFA Example – Multiple Contaminants / Data from Wang e Smith (1994)

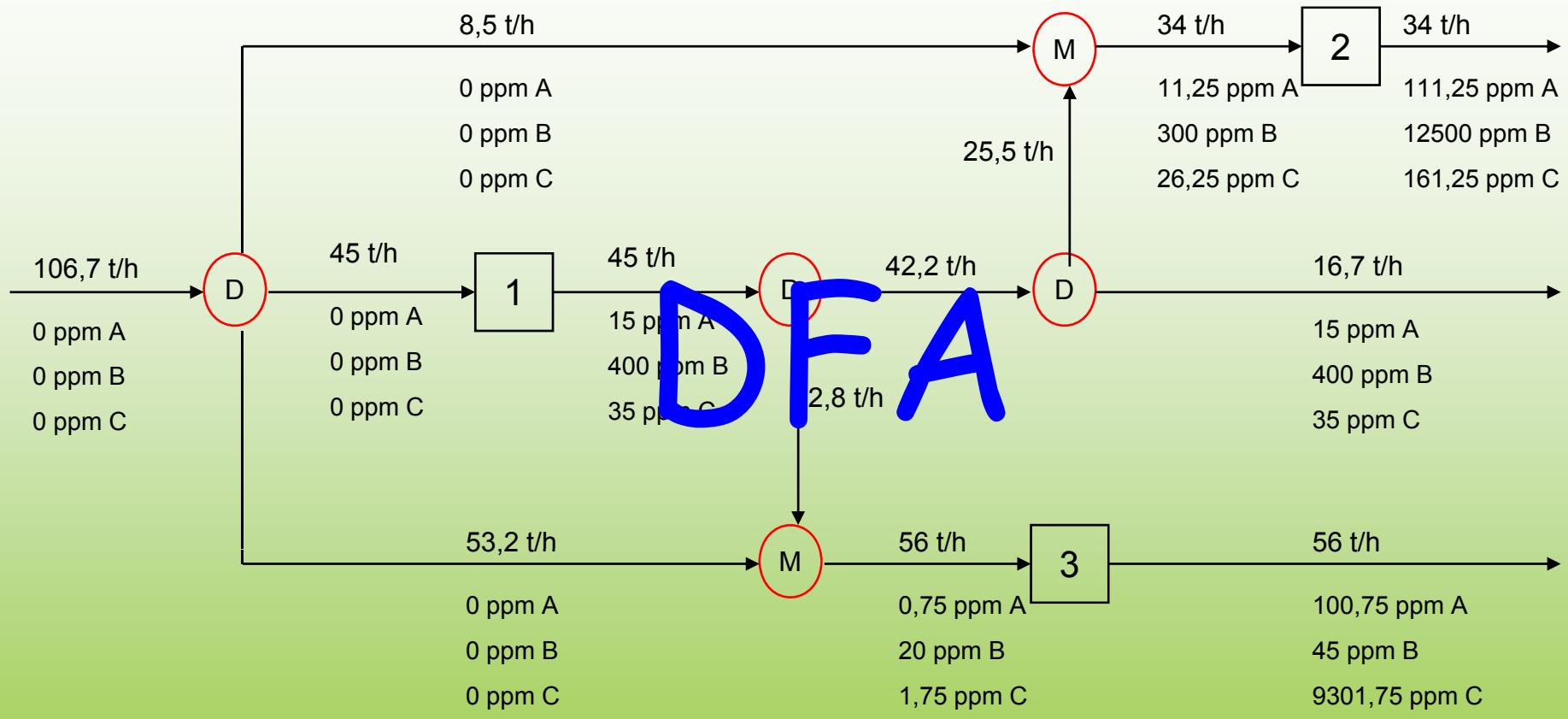
Operação k	Vazão f_k (t/h)	Contaminante	$C_{ik,max}$ (ppm)	$C_{fk,max}$ (ppm)	Δm_k (g/h)
1	45	A	0	15	675
		B	0	400	18000
				35	1575
2	34			20	3400
				2500	414800
				80	4590
3	56	A	120	220	5600
		B	20	45	1400
		C	200	9500	520800

OPERATIONS: (1) Distillation; (2) HDS; (3) Dessalinization

CONTAMINANTS: (A) Hydrocarbons; (B) H_2S; (C) Salt

Alocação de Regeneradores

(Placement of Treatment Equipment)



DFA

Tratamento Distribuído de Efluentes

(Wastewater Distributed Treatment)

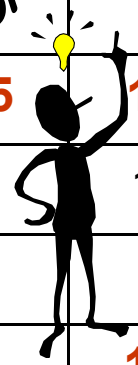
Valores de concentração após ajustes / deslocamentos

(Concentrations after adjustments / displacements)

Operação k	f_k (t/h)	Cont.	$C_{i,k,max}$ (ppm)	$C_{k,max}$ (ppm)	Δm_k (g/h)
1	45	A	**0**	**15**	675
		B	0	400	18000
		C	0	35	1575
2	34	A	**11,25**	**111,25**	3400
		B	300	12500	414800
		C	45	180	4590
3	56	A	**0,75**	**100,75**	5600
		B	20	45	1400
		C	200	9500	520800

Tabela de Oportunidades!!!

(Table of Oportunities!!!)



DFA – Máximo Reúso *(Maximum water reuse)*

Passo 1

Intervalos de concentração: Limites *(Intervals of concentration)*

C' = C'(fea) U C'(fia) = C' = {0, 50, 100, 400, 800}

Passo 2

Identificar as operações no DFA *(Operations!)*

Passo 3

Determinação da quantidade transferida por intervalo: $\Delta m = f_{lim} \ \Delta C$

(mass transferred of contaminant in each interval)

Passo 4

Determinação do consumo de fontes de água: $f = \Delta m/\Delta C|_{int}$ *(Flow rate)*

➔ Regra 1: Uso preferencial das fontes externas (First: using external source)

➔ Regra 2: Priorizar o uso da fonte de água com maior concentração (Using water source with higher concentration)

➔ Regra 3: Transferir a quantidade de massa da operação em cada intervalo (*The amounts of each contaminant must be removed in each operation)*

Cont. Ref.: A – Máximo Reúso

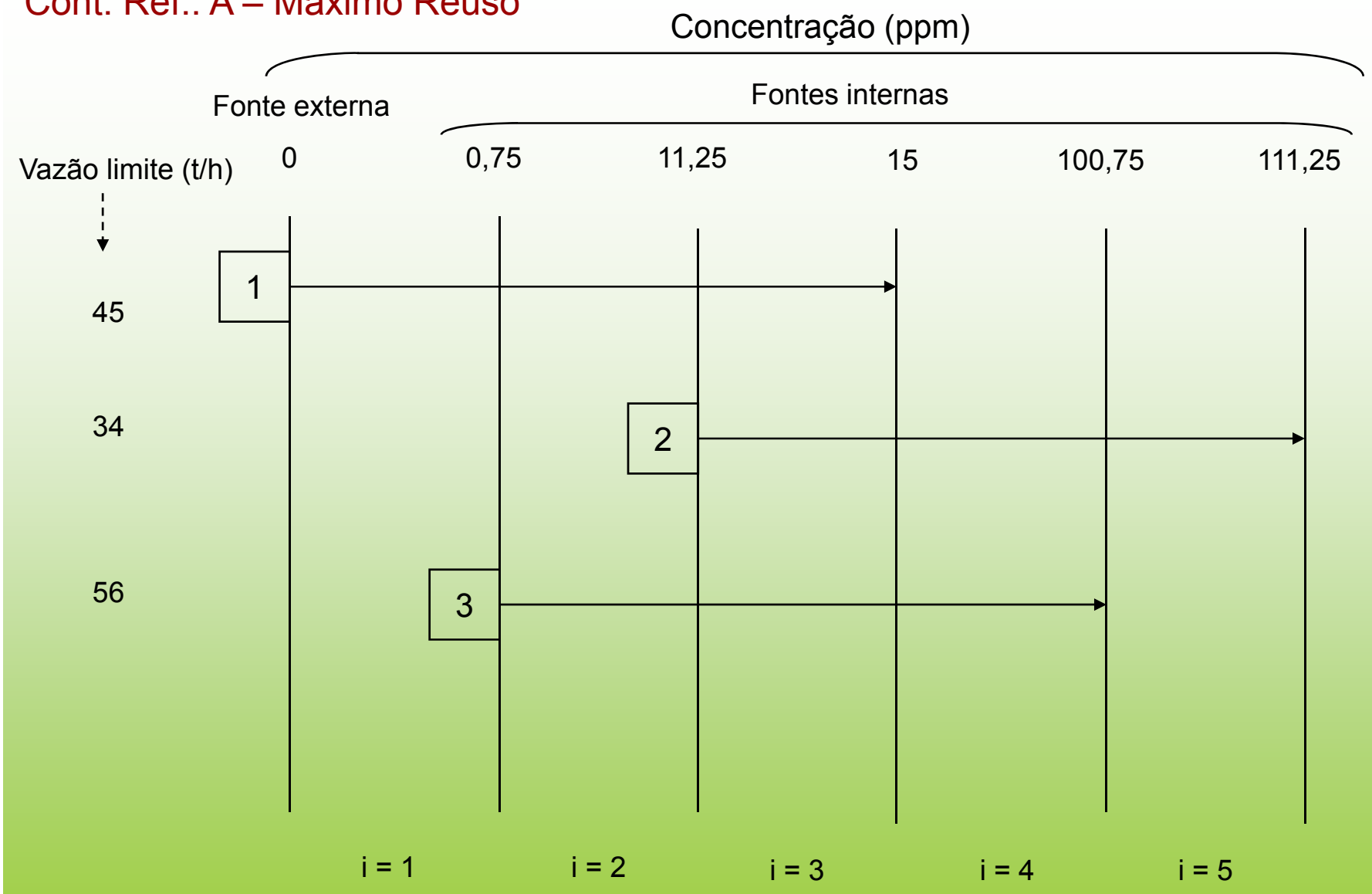
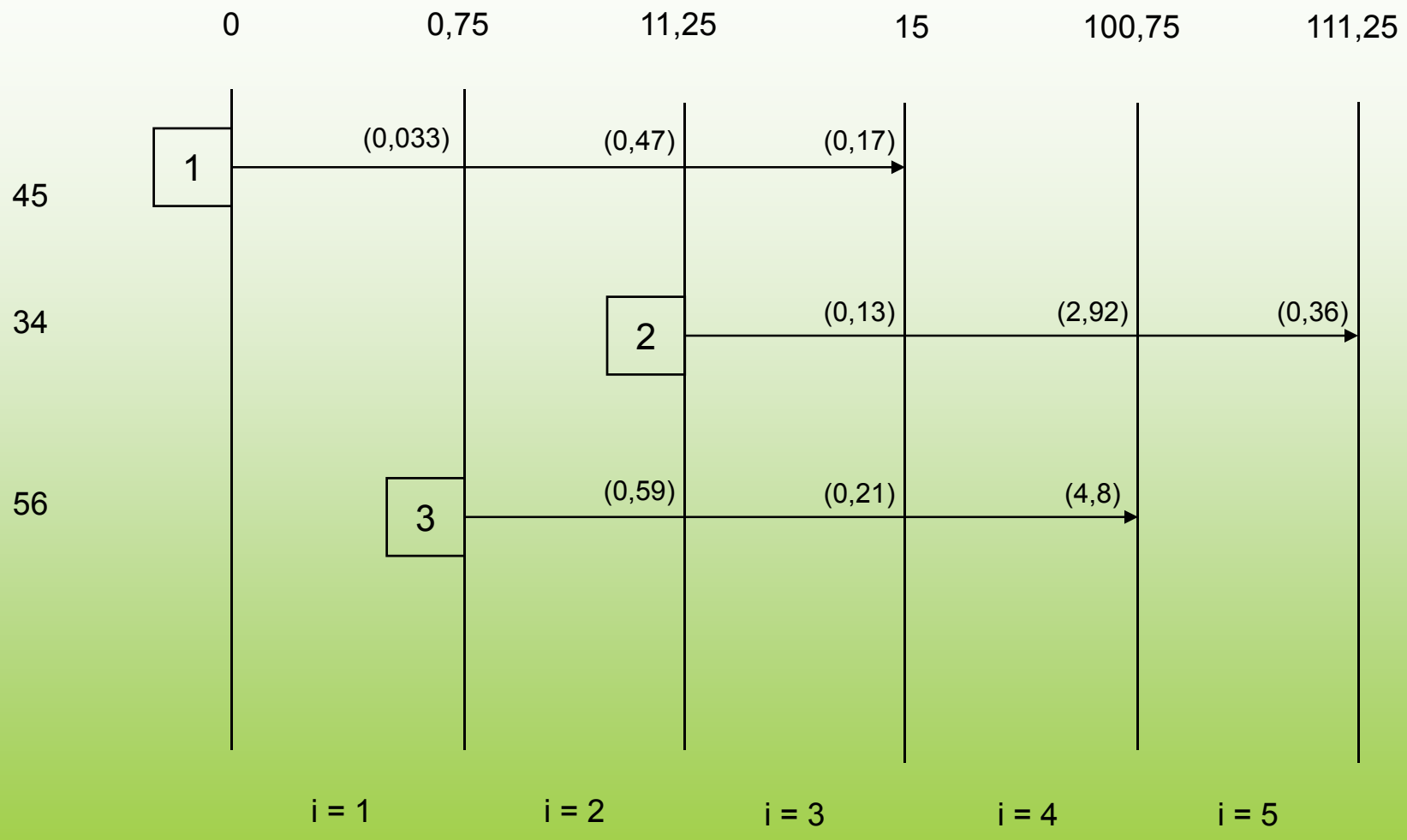
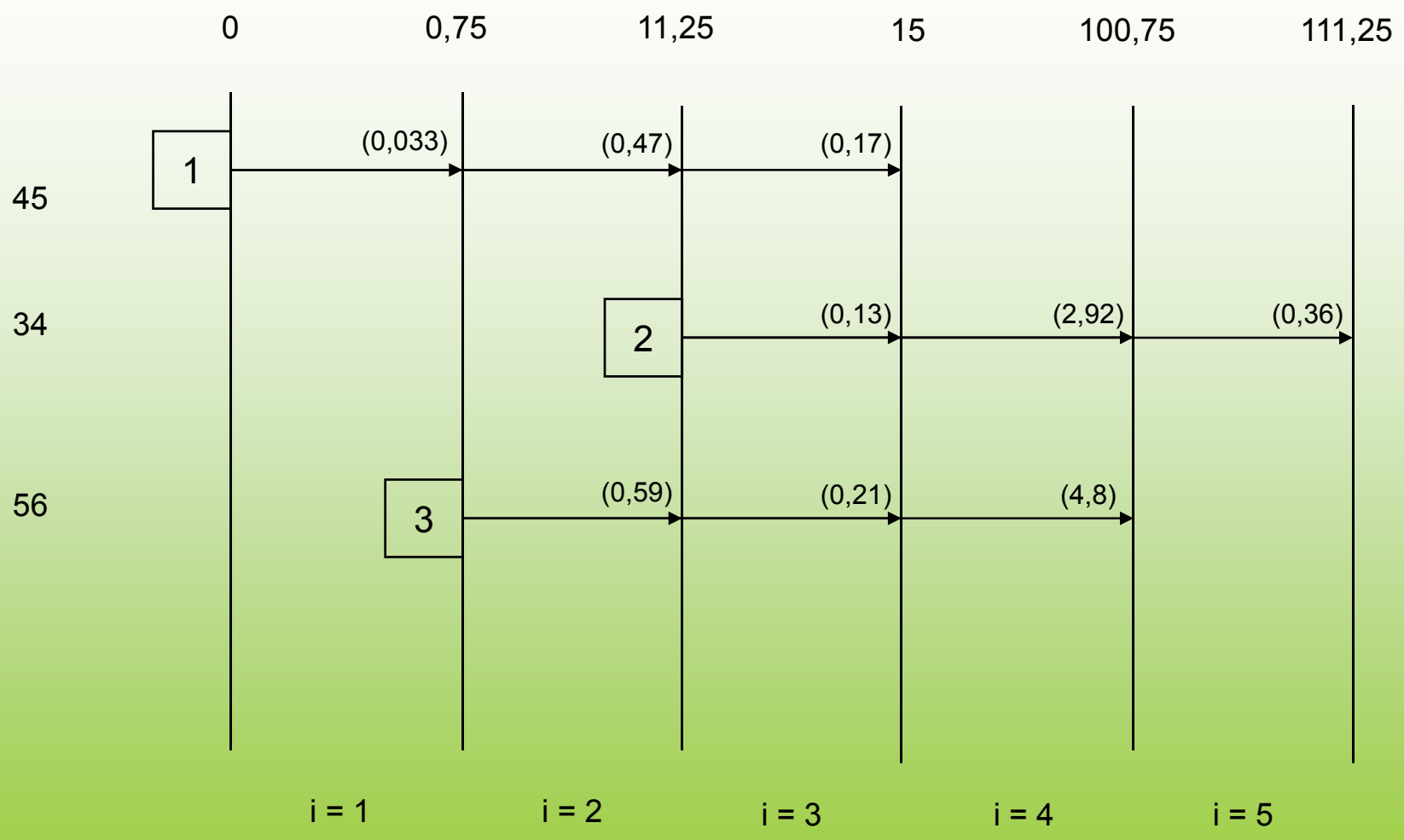


Diagrama de Fontes de Água

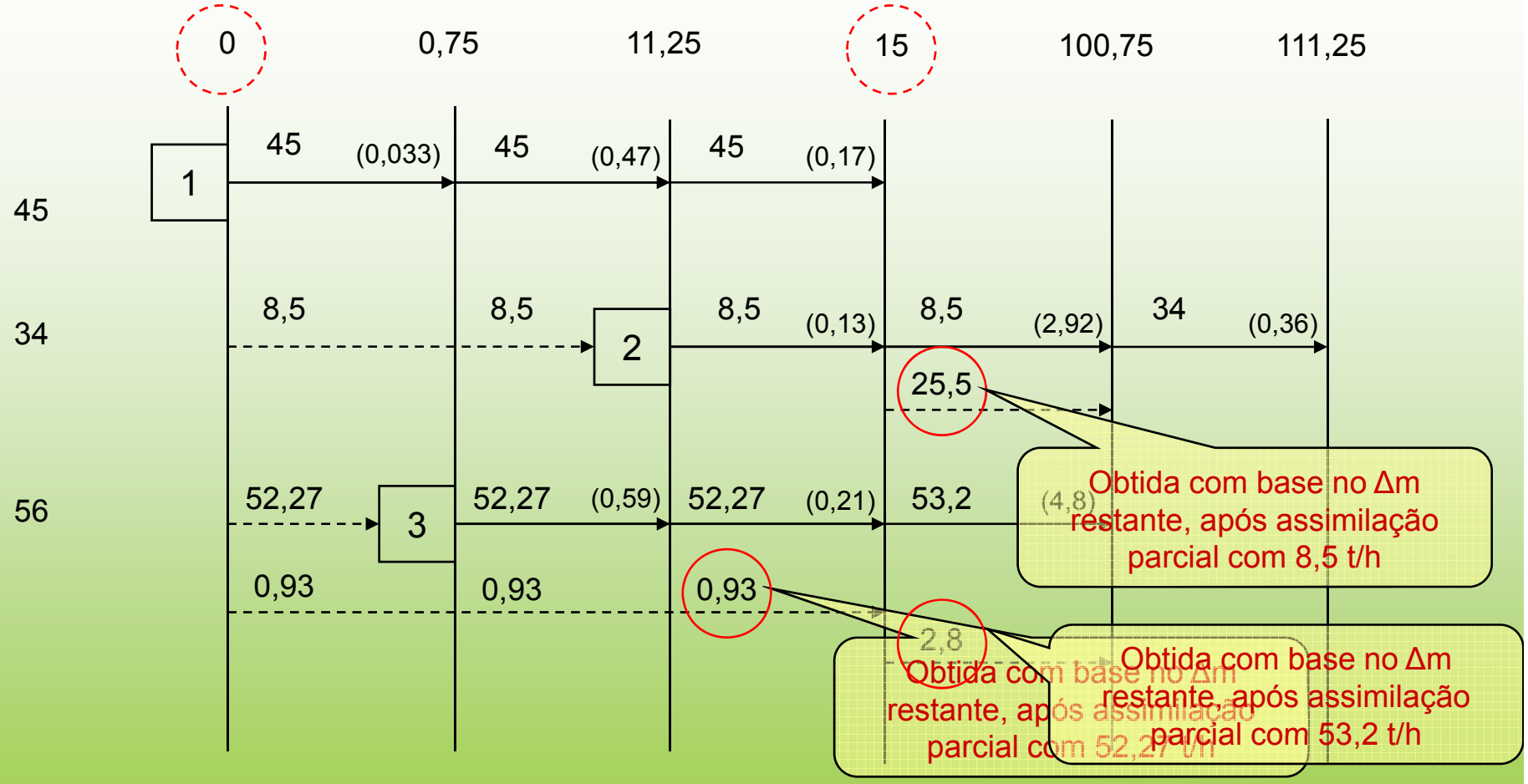
$$\Delta m = f_L \,.\, (C_{out} - C_{in})$$



$$\Delta m = f_L \cdot (C_{out} - C_{in})$$



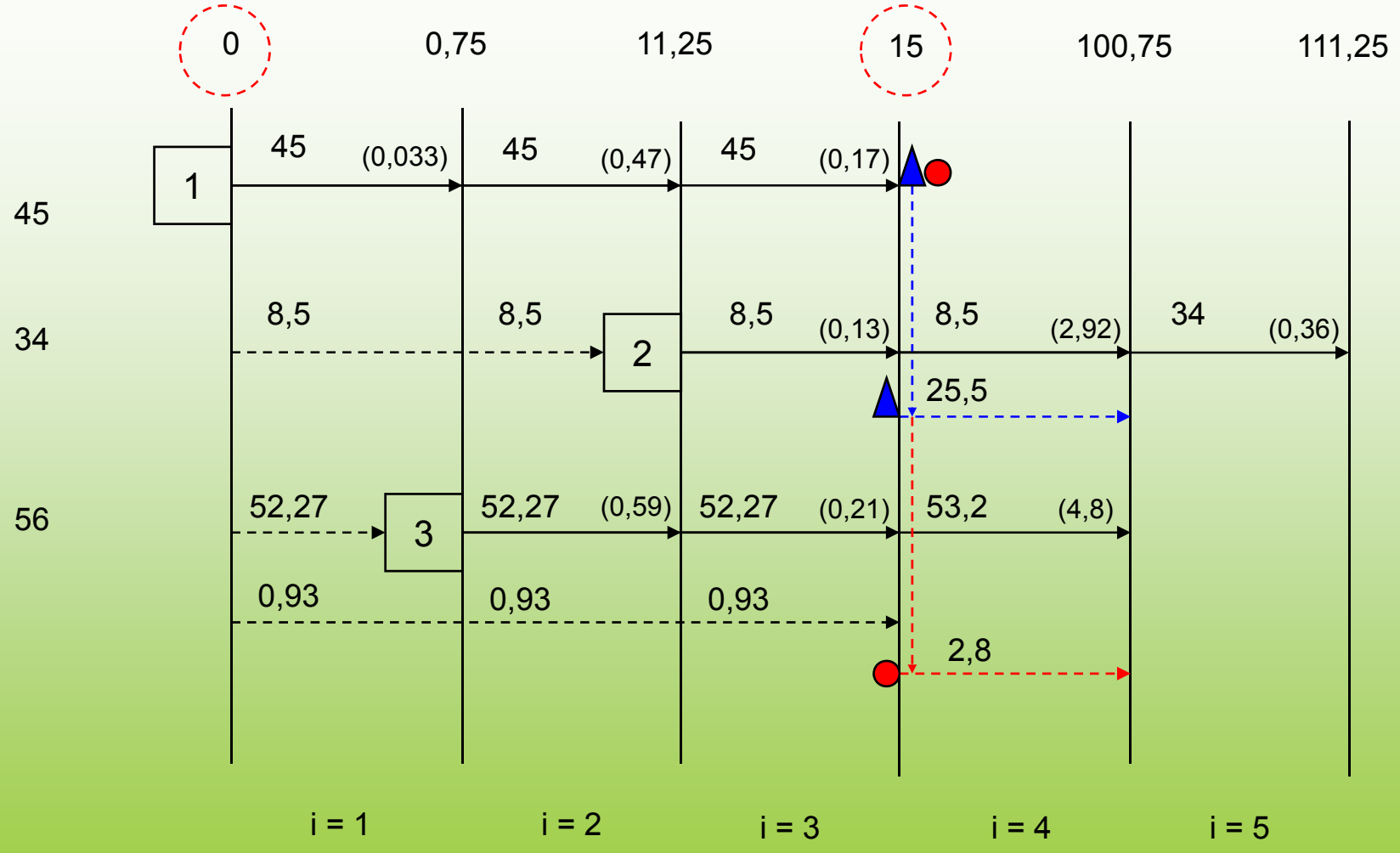
$$\Delta m = f_L \cdot (C_{out} - C_{in}) \longleftrightarrow f = \Delta m / (C_{out} - C_{in})$$

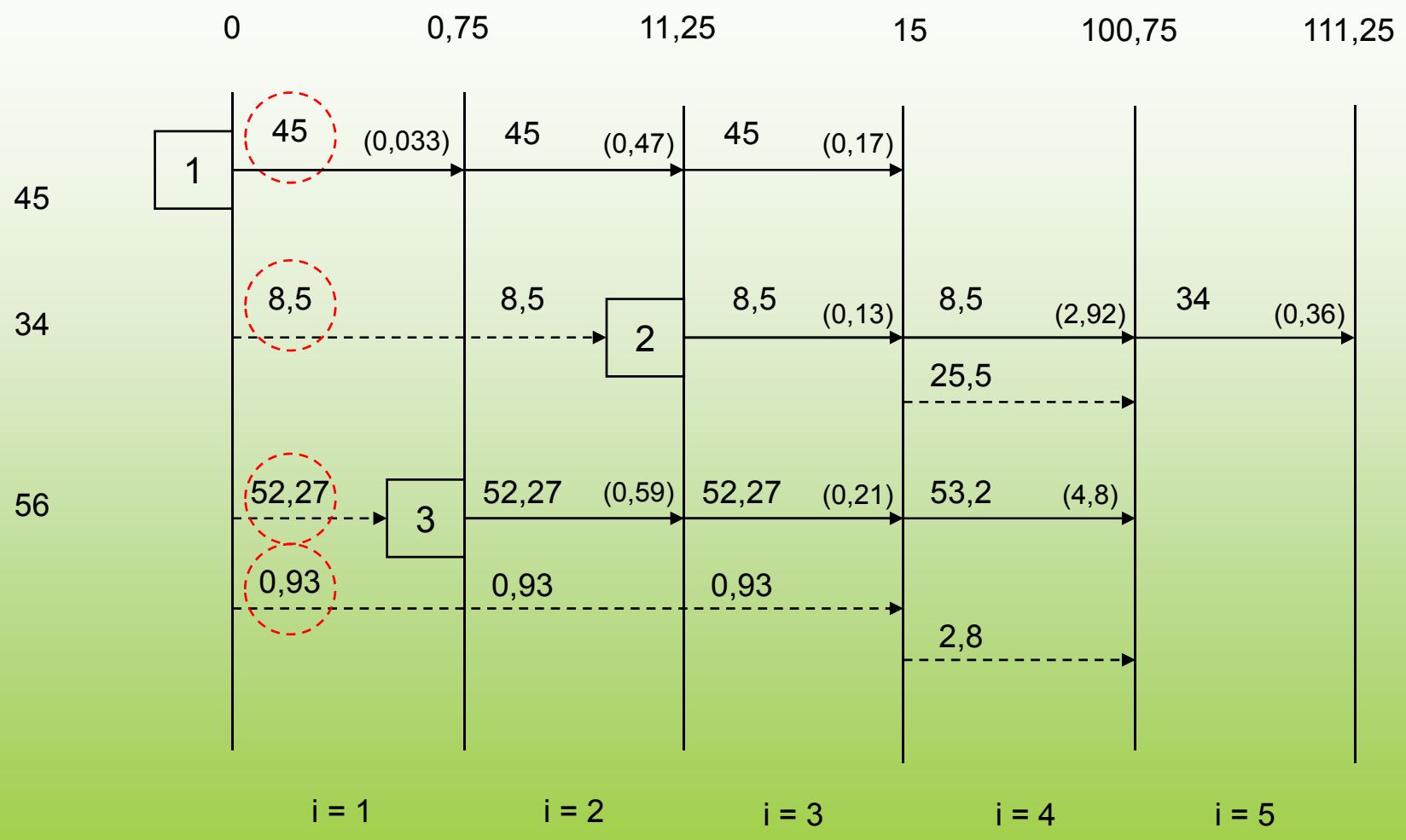


	i = 1	i = 2	i = 3	i = 4	i = 5
Fontes disponíveis	¥ f t/h a 0 ppm	45 t/h a 0,75 ppm (OP1, i=1 → OP1, i=2) ¥ f t/h a 0 ppm	45 t/h a 11,25 ppm (1, i=2 → 1, i=3) 52,27 t/h a 11,25 ppm (3, i=2 → 3, i=3) ¥ f t/h a 0 ppm	8,5 t/h a 15 ppm (2, i=3 → 2, i=4) 53,2 t/h a 15 ppm (3, i=3 → 3, i=4) 45 t/h a 15 ppm ¥ f t/h a 0 ppm	34 t/h a 100,75 ppm (2, i=4 ⟶ 2, i=5) 56 t/h a 100,75 ppm 16,7 t/h a 15 ppm ¥ f t/h a 0 ppm

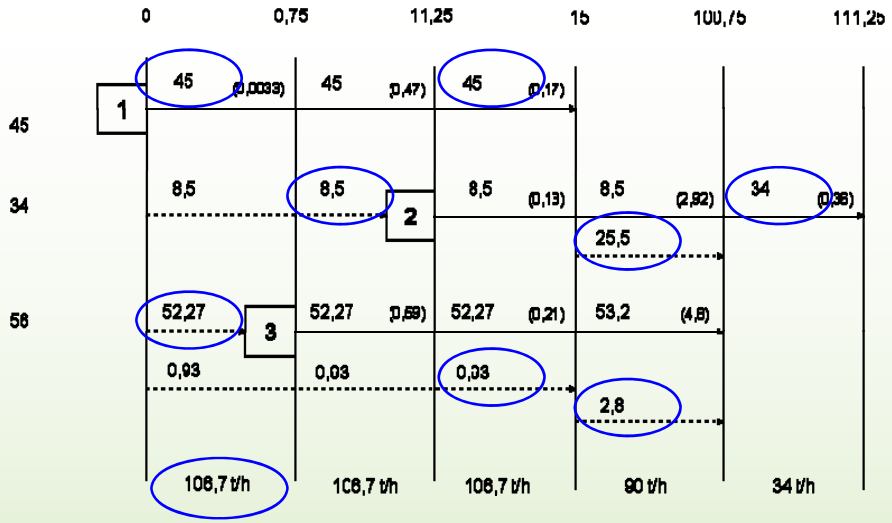
Priorizar reúso de fonte mais “suja” nas OP’s

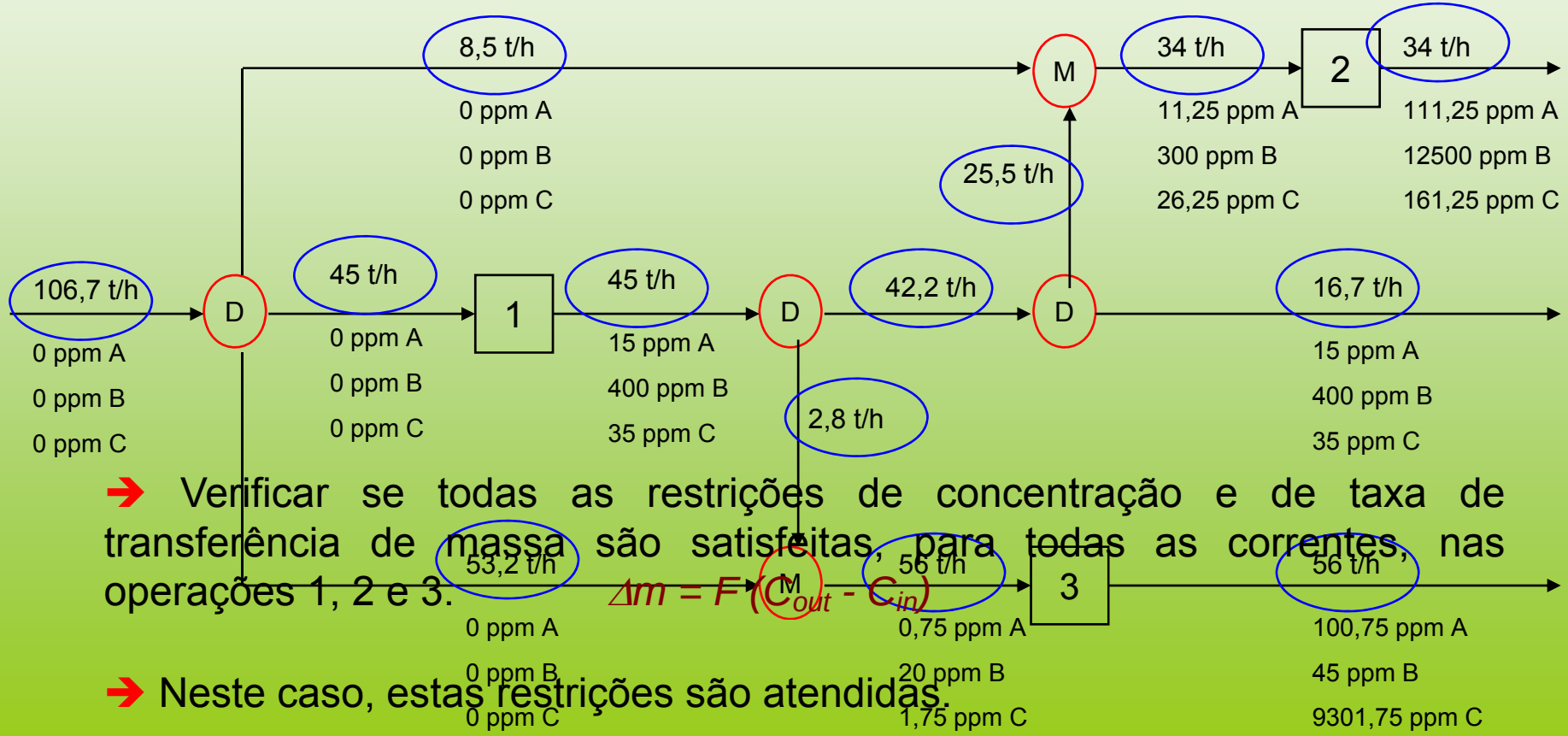
$\Delta m = f_L \cdot (C_{out} - C_{in})$ ⟷ $f = \Delta m / (C_{out} - C_{in})$




0
0,75
11,25
15
100,75
111,25
45
34
56
1
2
3
45
(0,033)
45
(0,47)
45
(0,17)
8,5
8,5
8,5
(0,13)
8,5
(2,92)
34
(0,36)
25,5
52,27
52,27
(0,59)
52,27
(0,21)
53,2
(4,8)
0,93
0,93
0,93
2,8
i = 1
i = 2
i = 3
i = 4
i = 5

106,7 t/h

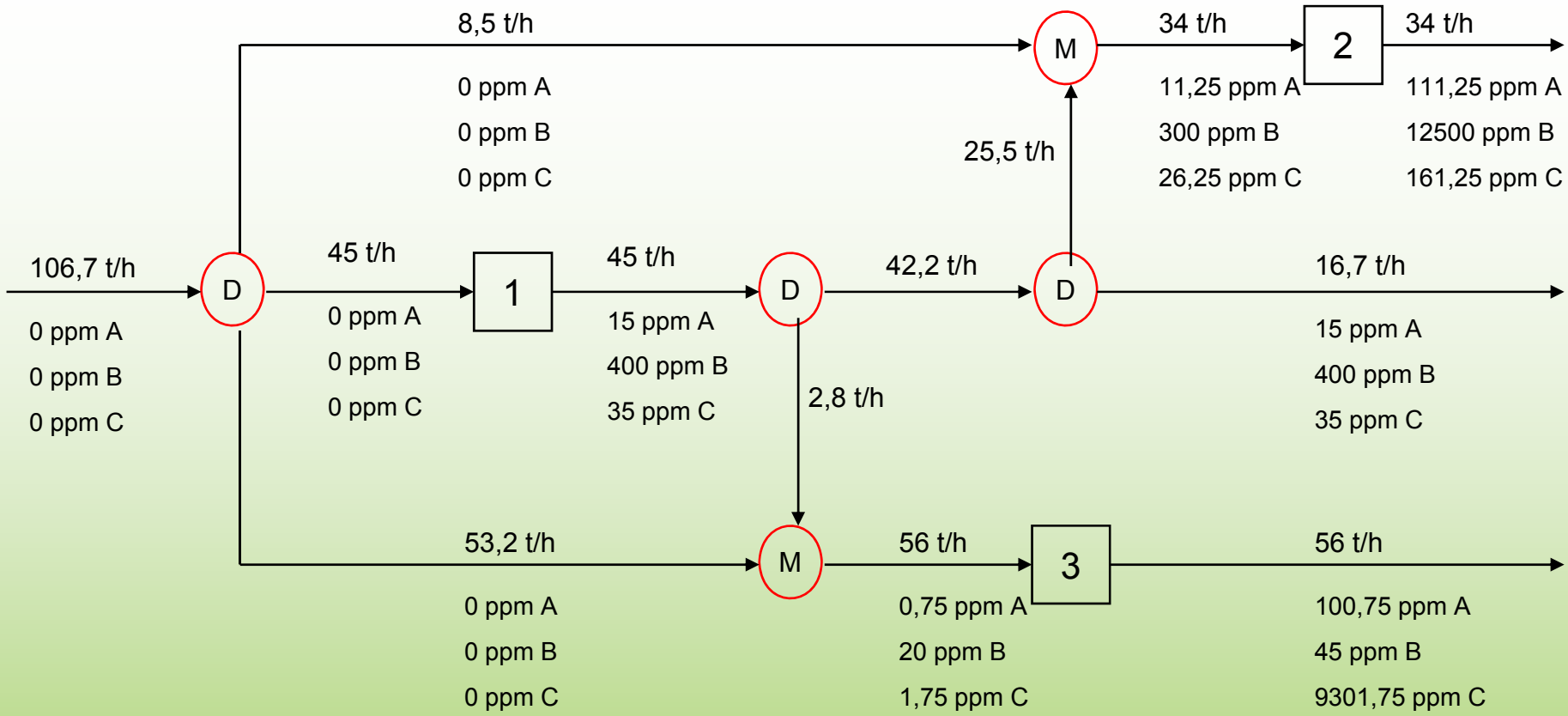




➔ Verificar se todas as restrições de concentração e de taxa de transferência de massa são satisfeitas, para todas as correntes, nas operações 1, 2 e 3.

$$\Delta m = F\,(C_{out} - C_{in})$$

➔ Neste caso, estas restrições são atendidas.



➔ Verificar se todas as restrições de concentração e de taxa de transferência de massa são satisfeitas, para todas as correntes, nas operações 1, 2 e 3. $\Delta m = F\,(C_{out} - C_{in})$

➔ Neste caso, estas restrições são atendidas.

DFA

Nem sempre há necessidade! (aplicável a processos complexos)

(WSD – tool that can be used acording to customers processes; but, it's not used in all situations)

Estudo de Caso

(Case Study)

Refinaria de Petróleo – Processos Hídricos

(Oil Refinery – Water Processes)

3 contaminantes *(3 contaminants)*

7 operações *(7 operation units)*

Adaptação de Huang *et al.* (1999) e Ullmer *et al.* (2005)

Fontes de água da refinaria (Huang *et al*., 1999)

Fonte	Concentração (ppm)			Vazão máxima (t/h)
	Sais (A)	Orgânicos (B)	H_2S (C)	
Água fresca (AF)	50	15	0	∞
Água purificada (AP)	10	1	0	∞
Dreno de óleo cru (TQ)	135	45	400	15

Dados de processo de uma unidade de tratamento de efluentes da refinaria (Huang *et al*., 1999)

Unidade de tratamento	Componente	Taxa de remoção do componente	Vazão limite (t/h)
Stripper (8)	Sais (A)	0	150
	Orgânicos (B)	0,25	
	H_2S (C)	0,95	

Limites de descarte no corpo receptor

Sumidouro	Concentração de descarte máxima (ppm)			Vazão máxima (t/h)
	Sais (A)	Orgânicos (B)	H_2S (C)	
Rio	250	250	1,0	∞

Determinação da vazão limite de cada operação

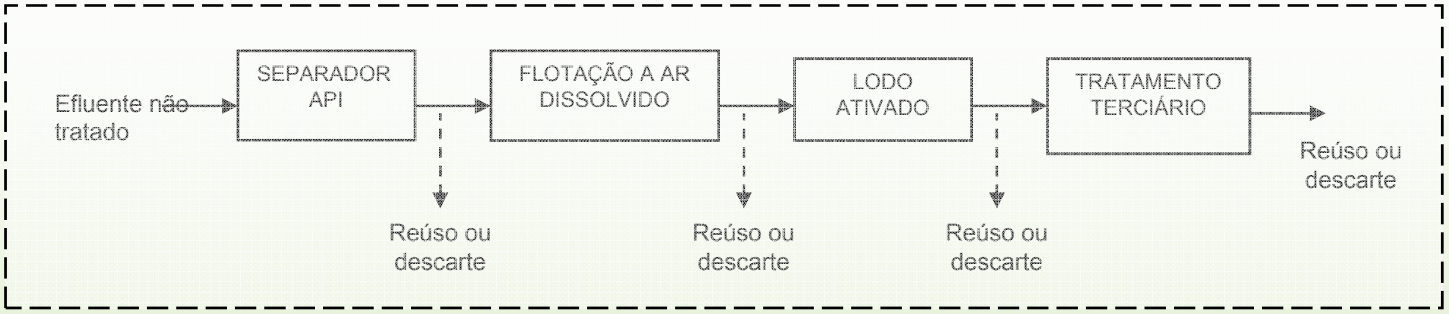
A partir das concentrações máximas e da preservação das cargas mássicas

Operação	Componente	Δm (g/h)	Concentração de entrada máxima (ppm)	Concentração de saída máxima (ppm)	Vazão limite (t/h)
Dessalgação (1)	Sais (A)	120.000	200	2.000	66,67
	Orgânicos (B)	480.000	100	6.500	**75**
	H_2S (C)	1.875	20	45	**75**
Lavagem de amônia (2)					
Torre fracionadora (3)					
Caldeira (4)					
Caldeira perda (4)					

Operação	Componente	Δm (g/h)	Concentração de entrada máxima (ppm)	Concentração de saída máxima (ppm)	Vazão limite (t/h)
Lavagem de H_2S (5)	Sais (A)	200	300	500	1
	Orgânicos (B)	1.200	50	500	**2,67**
	H_2S (C)	1.750	5.000	6.000	1,75
Uso geral (6)	Sais (A)	7.100	300	1.250	7,47
	Orgânicos (B)	52.500	50	7.050	**7,5**
	H_2S (C)	221	0	29,5	7,49
Torre de resfriamento (7)	Sais (A)	135.300	2.500	3.115	**220**
	Orgânicos (B)	0	220	220	-
	H_2S (C)	0	45	45	-
Torre de resfriamento perda (7)	Sais (A)	-	2.500	-	
	Orgânicos (B)	-	220	-	405
	H_2S (C)	-	45	-	

(Wastewater Treatment Process in this case studied)

Esquema da seqüência de processos de tratamento de efluentes proposto para a refinaria em estudo



Eficiências de remoção de contaminantes na ETDI

Efficiency removal of contaminants

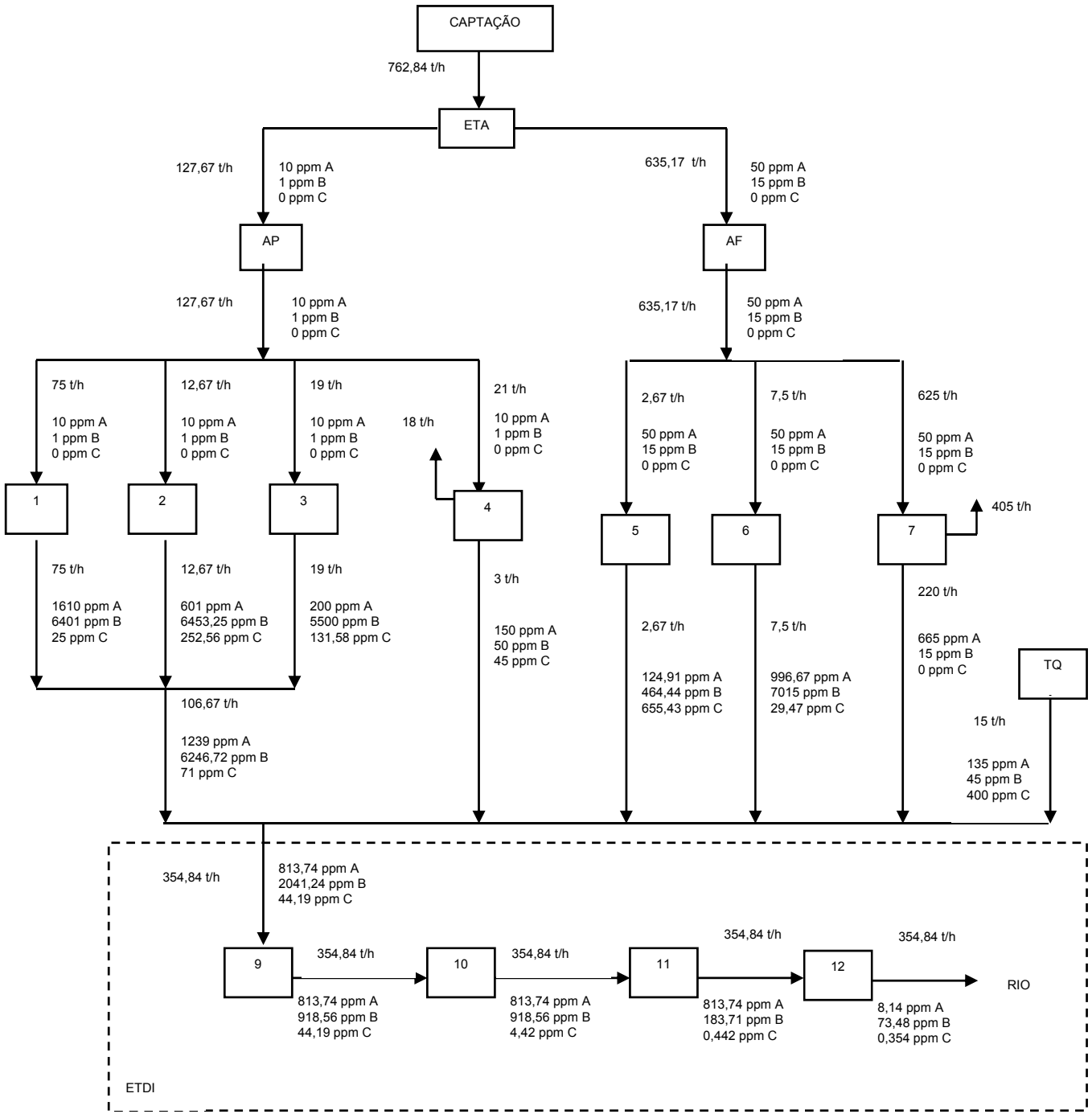
Operação	Componente	Eficiência de remoção	Vazão máxima (t/h)
(9) Separador API	Sais (A)	0	400
	Orgânicos (B)	0,55	
	H_2S (C)	0	
(10) Flotação a ar dissolvido	Sais (A)	0	400
	Orgânicos (B)	0	
	H_2S (C)	0,90	
(11) Lodo ativado	Sais (A)	0	400
	Orgânicos (B)	0,80	
	H_2S (C)	0,90	
(12) Osmose inversa	Sais (A)	0,99	400
	Orgânicos (B)	0,60	
	H_2S (C)	0,20	

Cenário Base

Descrição: Tratamento centralizado

ETDI (API + Flotador + LA + OI)

Initial case (without reuse)
Centralized wastewater treatment

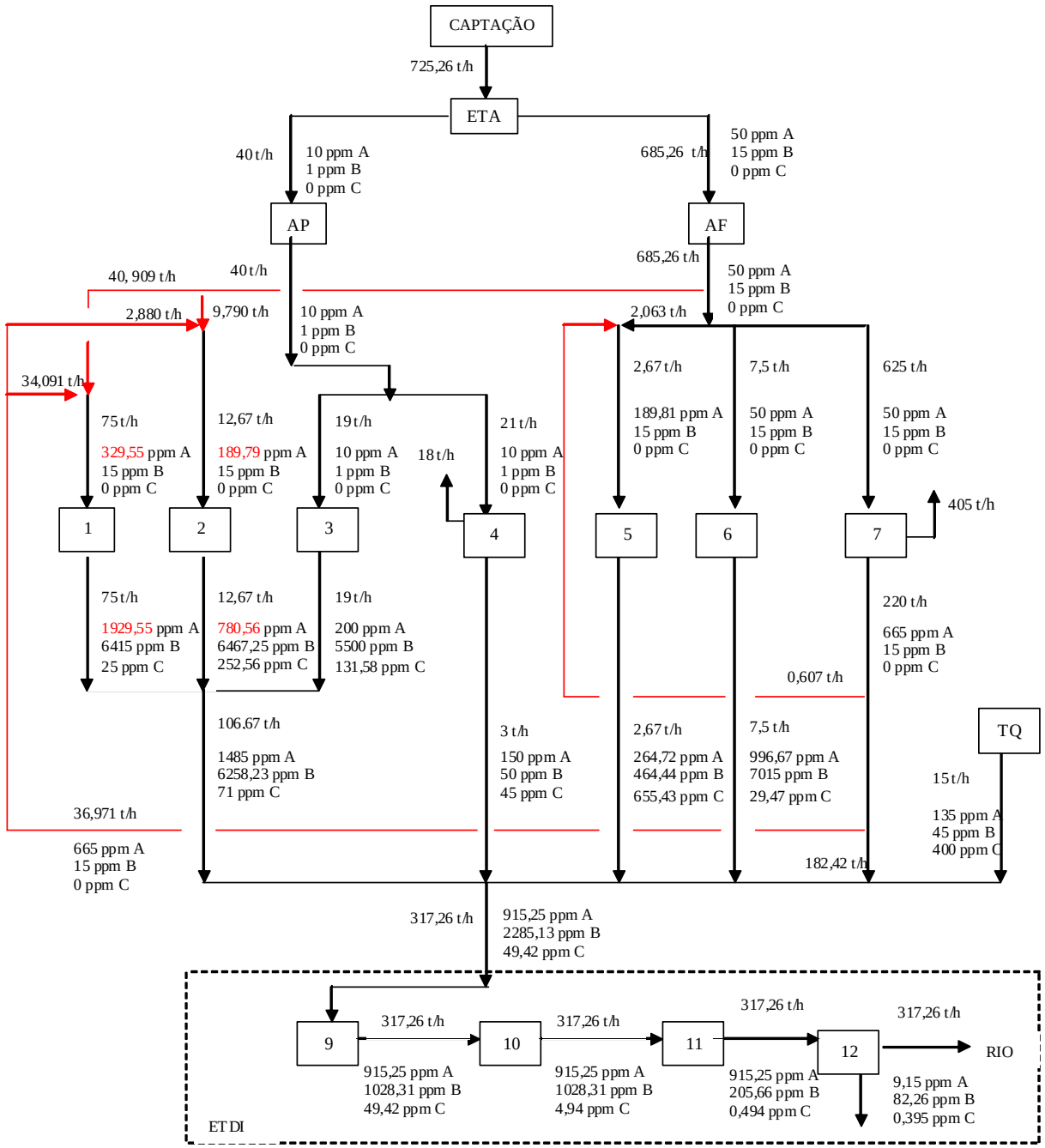

CAPTAÇÃO
762,84 t/h
ETA
127,67 t/h
10 ppm A
1 ppm B
0 ppm C
635,17 t/h
50 ppm A
15 ppm B
0 ppm C
AP
AF
127,67 t/h
10 ppm A
1 ppm B
0 ppm C
635,17 t/h
50 ppm A
15 ppm B
0 ppm C
75 t/h
10 ppm A
1 ppm B
0 ppm C
12,67 t/h
10 ppm A
1 ppm B
0 ppm C
19 t/h
10 ppm A
1 ppm B
0 ppm C
18 t/h
21 t/h
10 ppm A
1 ppm B
0 ppm C
2,67 t/h
50 ppm A
15 ppm B
0 ppm C
7,5 t/h
50 ppm A
15 ppm B
0 ppm C
625 t/h
50 ppm A
15 ppm B
0 ppm C
1
2
3
4
5
6
7
405 t/h
75 t/h
1610 ppm A
6401 ppm B
25 ppm C
12,67 t/h
601 ppm A
6453,25 ppm B
252,56 ppm C
19 t/h
200 ppm A
5500 ppm B
131,58 ppm C
3 t/h
150 ppm A
50 ppm B
45 ppm C
2,67 t/h
124,91 ppm A
464,44 ppm B
655,43 ppm C
7,5 t/h
996,67 ppm A
7015 ppm B
29,47 ppm C
220 t/h
665 ppm A
15 ppm B
0 ppm C
TQ
15 t/h
135 ppm A
45 ppm B
400 ppm C
106,67 t/h
1239 ppm A
6246,72 ppm B
71 ppm C
354,84 t/h
813,74 ppm A
2041,24 ppm B
44,19 ppm C
9
354,84 t/h
10
354,84 t/h
11
354,84 t/h
12
354,84 t/h
RIO
813,74 ppm A
918,56 ppm B
44,19 ppm C
813,74 ppm A
918,56 ppm B
4,42 ppm C
813,74 ppm A
183,71 ppm B
0,442 ppm C
8,14 ppm A
73,48 ppm B
0,354 ppm C
ETDI

Novo Cenário

Descrição: Tratamento centralizado

ETDI (API + Flotador + LA + OI)

Flowsheet using reuse
Centralized wastewater treatment


CAPTAÇÃO
725,26 t/h
ETA
40 t/h
10 ppm A
1 ppm B
0 ppm C
685,26 t/h
50 ppm A
15 ppm B
0 ppm C
AP
AF
40, 909 t/h
40 t/h
685,26 t/h
50 ppm A
15 ppm B
0 ppm C
2,880 t/h
9,790 t/h
10 ppm A
1 ppm B
0 ppm C
2,063 t/h
34,091 t/h
2,67 t/h
189,81 ppm A
15 ppm B
0 ppm C
7,5 t/h
50 ppm A
15 ppm B
0 ppm C
625 t/h
50 ppm A
15 ppm B
0 ppm C
75 t/h
329,55 ppm A
15 ppm B
0 ppm C
12,67 t/h
189,79 ppm A
15 ppm B
0 ppm C
19 t/h
10 ppm A
1 ppm B
0 ppm C
18 t/h
21 t/h
10 ppm A
1 ppm B
0 ppm C
405 t/h
1
2
3
4
5
6
7
75 t/h
1929,55 ppm A
6415 ppm B
25 ppm C
12,67 t/h
780,56 ppm A
6467,25 ppm B
252,56 ppm C
19 t/h
200 ppm A
5500 ppm B
131,58 ppm C
220 t/h
665 ppm A
15 ppm B
0 ppm C
0,607 t/h
106.67 t/h
1485 ppm A
6258,23 ppm B
71 ppm C
3 t/h
150 ppm A
50 ppm B
45 ppm C
2,67 t/h
264,72 ppm A
464,44 ppm B
655,43 ppm C
7,5 t/h
996,67 ppm A
7015 ppm B
29,47 ppm C
TQ
15 t/h
135 ppm A
45 ppm B
400 ppm C
36,971 t/h
665 ppm A
15 ppm B
0 ppm C
182,42 t/h
317,26 t/h
915,25 ppm A
2285,13 ppm B
49,42 ppm C
9
317,26 t/h
10
317,26 t/h
11
317,26 t/h
12
317,26 t/h
RIO
915,25 ppm A
1028,31 ppm B
49,42 ppm C
915,25 ppm A
1028,31 ppm B
4,94 ppm C
915,25 ppm A
205,66 ppm B
0,494 ppm C
9,15 ppm A
82,26 ppm B
0,395 ppm C
ETDI

Novo Cenário

Descrição: Tratamento centralizado

ETDI (API + Flotador + LA + OI)

Redução na captação: 5% (725 t/h -> 317 t/h)

(Reduction on water consumption)

Conclusões *(Conclusions)*

- DFA - *Ferramenta para o gerenciamento de recursos hídricos no ambiente industrial*

  (WSD – Tool for water management in process industry)

- Suporte às etapas de desenvolvimento de um programa de P+L

  (WSD – Tool for Cleaner Production application)

- Utilizou-se um exemplo como forma de mostrar a aplicação do procedimento adotado, visando a redução do consumo de água e da geração de efluentes

- Dentre as suas vantagens estão a facilidade de realização de cálculos rápidos e manuais e a geração simultânea de fluxogramas alternativos para o processo

  (WSD – advantage: quickly and hand calculations)

- É necessário que se faça um estudo econômico, em que se constate o efeito do reúso na redução dos custos totais, incluindo o tratamento de efluentes.

  (Important: economic study, considering wastewater treatment)

Agradecimentos

Núcleo Integrado para o Reúso de Águas e Efluentes do Estado do Rio de Janeiro

http://www.eq.ufrj.br/nirae

nirae@eq.ufrj.br

CENPES

PETROBRAS

CNPq

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

?
Obrigado!
reinaldomirre@hotmail.com