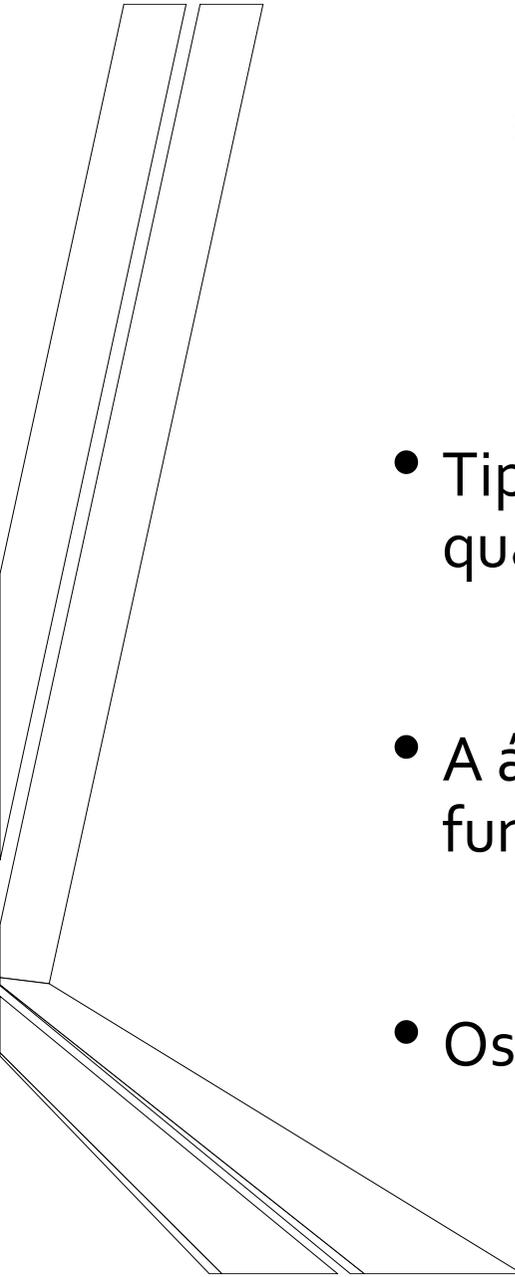


# **Escola Politécnica da USP**

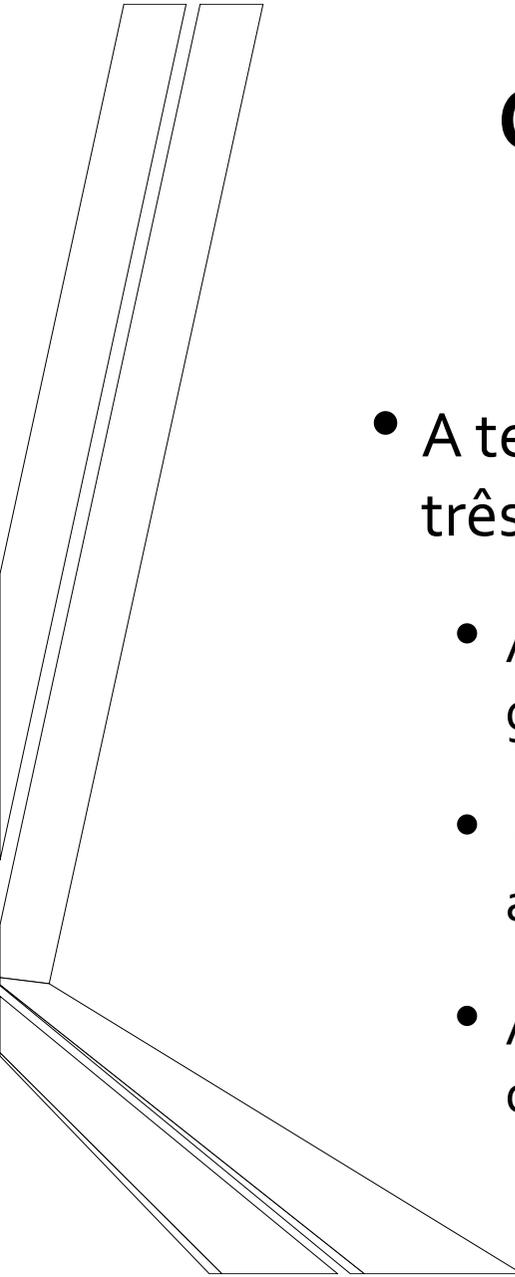
## **PHA 5749 – Uso Racional e Reúso de Água**

**Ponto de Mínimo Consumo de Água**



# Conceitos sobre o Ponto de Mínimo Consumo de Água

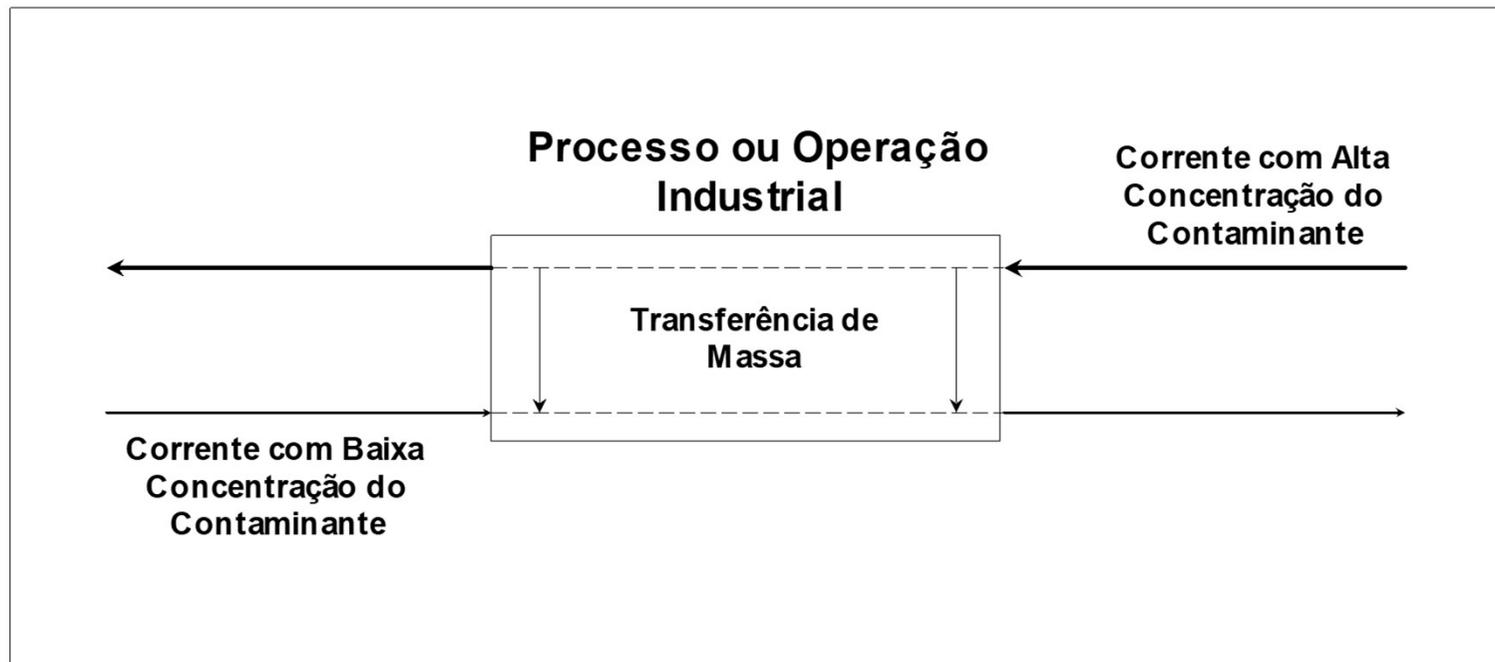
- Tipo de integração entre troca de massa nos processos nos quais a água é utilizada;
- A água utilizada em qualquer processo industrial tem a função de assimilar contaminantes;
- Os processos produtivos são as fontes de contaminantes.



# Conceitos sobre o Ponto de Mínimo Consumo de Água

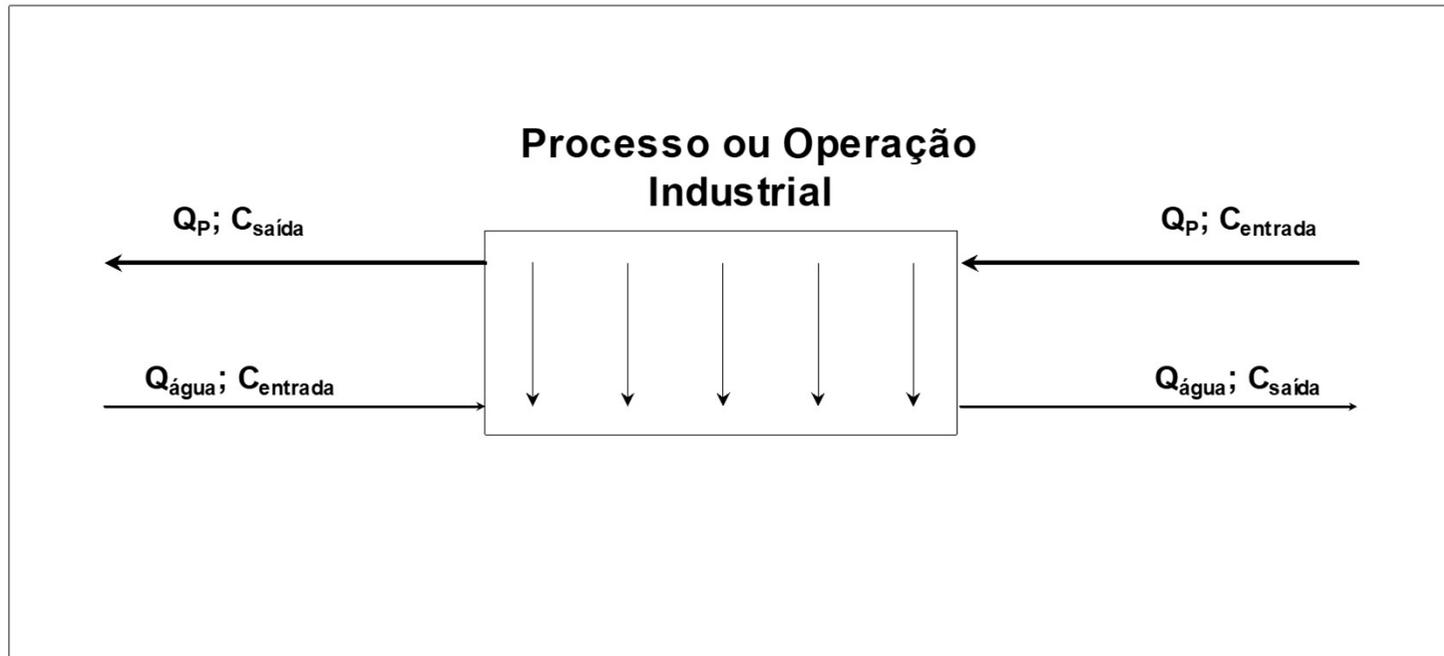
- A tecnologia de ponto de mínimo consumo é dividida em três atividades:
  - Análise → identificar o ponto de mínimo consumo de água limpa e geração de efluentes;
  - Concepção → desenvolver a estrutura de distribuição de água que atenda aos fluxos mínimos;
  - Alteração → modificar a estrutura de distribuição de água e coleta de efluentes para maximizar o reúso.

# Determinação do Ponto de Mínimo Consumo de Água sem Reúso

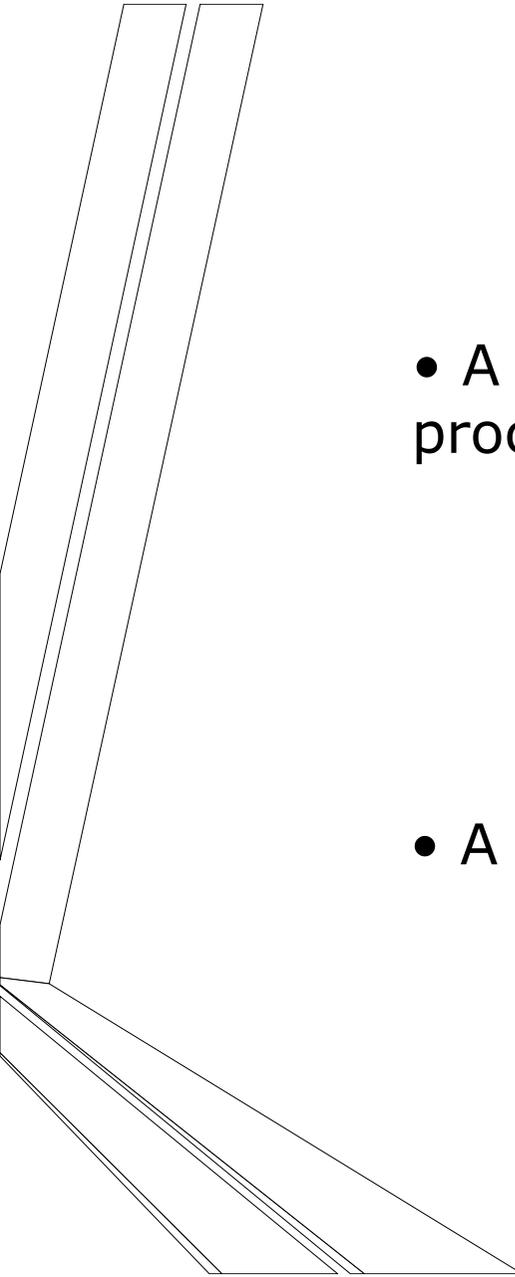


**Representação do processo de transferência de contaminantes em uma operação industrial**

# Determinação do Ponto de Mínimo Consumo de Água sem Reúso



**Representação do processo de transferência de massa para a obtenção da carga transferida**



# Balanço de Massa do Sistema

- A carga de contaminante transferida pela corrente de processo deve ser igual à carga assimilada pela água:

$$Q_P \cdot (C_{i;entra}^P - C_{i;sai}^P) = Q_{H_2O} \cdot (C_{i;sai}^{H_2O} - C_{i;entra}^{H_2O})$$

- A corrente de processo pode ser fictícia:

$$\Delta m_{i,total} = Q_{H_2O} \cdot (C_{i;sai}^{H_2O} - C_{i;entre}^{H_2O})$$



# Balanço de Massa do Sistema

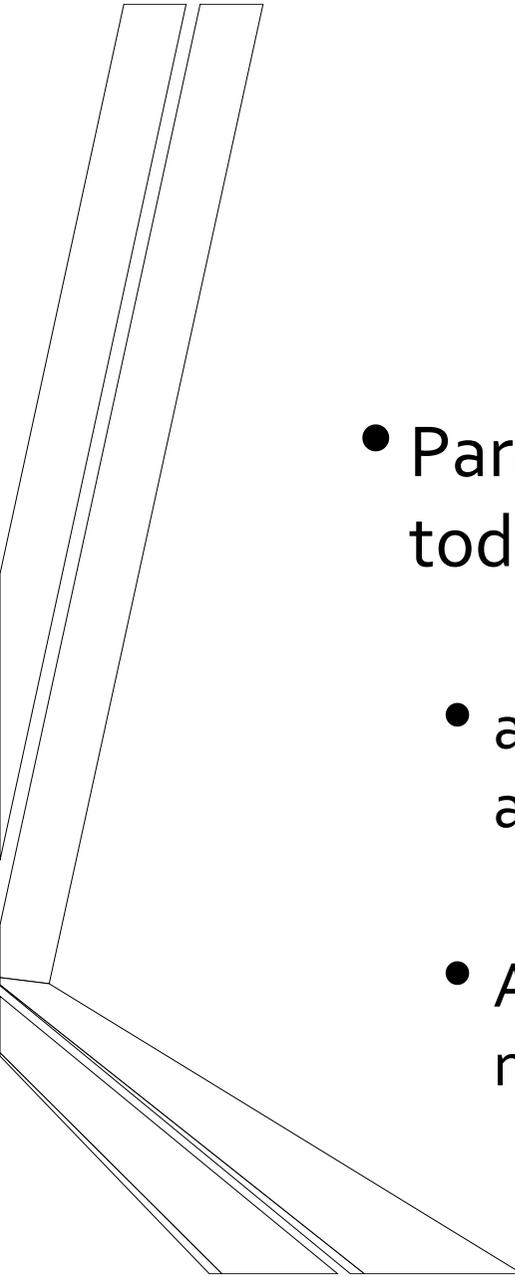
- Combinando-se as expressões e adotando-se que a carga de contaminantes é expressa em Kg/h e a concentração do contaminante em mg/L, tem-se:

$$f_{H_2O}^{\text{lim}} (t/h) = \frac{\Delta m_{i,\text{total}} (Kg/h)}{[C_{i,\text{sai}}^{H_2O} - C_{i,\text{entra}}^{H_2O}] (mg/L)} \cdot 10^3$$

- ◆ Dispondo-se das concentrações limites para o contaminante obtém-se o fluxo necessário de água.

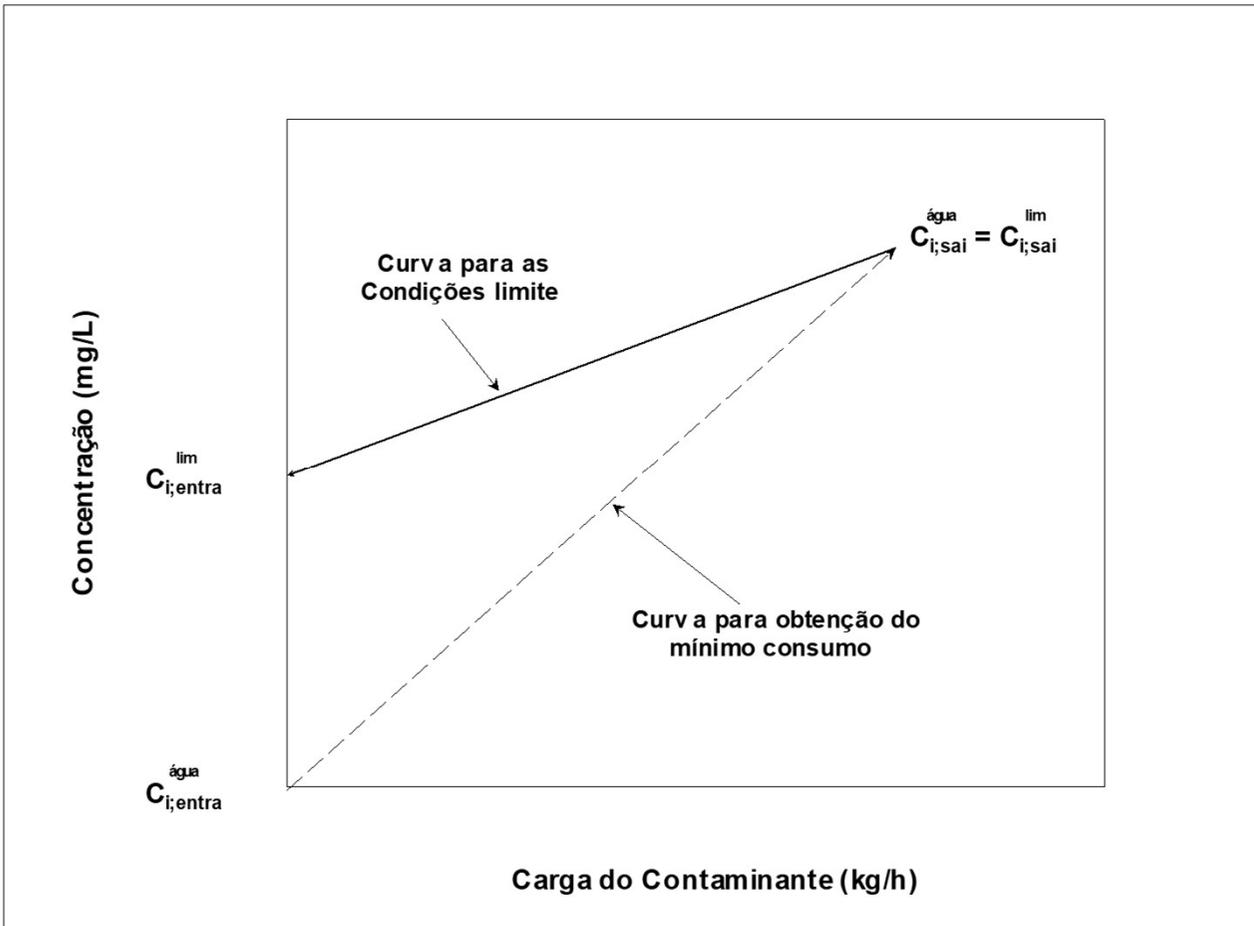
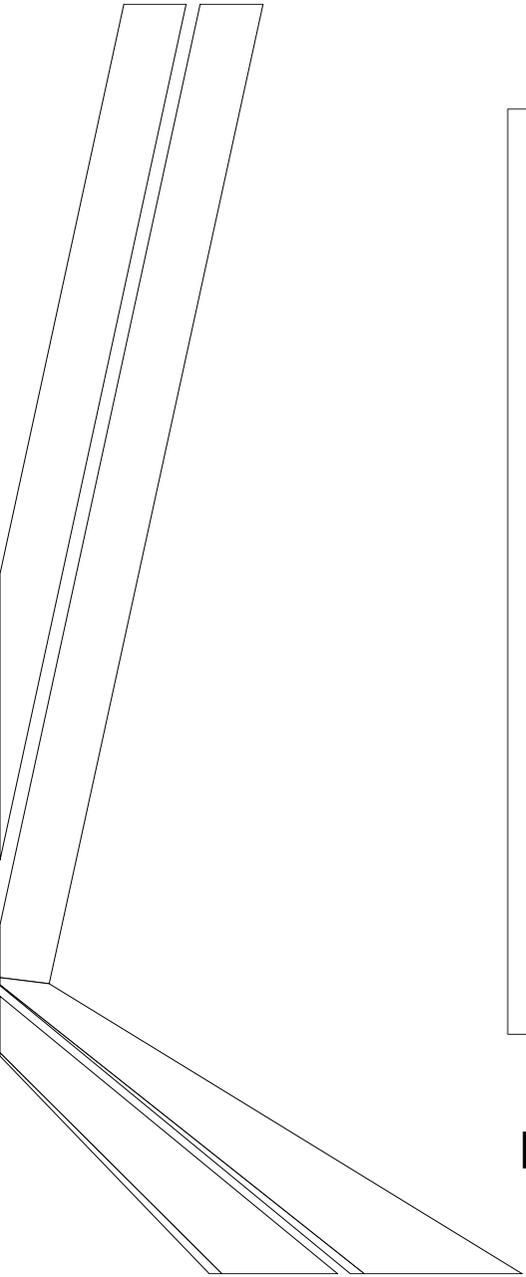
# Exemplo

Processo	$\Delta m_{i,\text{total}}$ (Kg/h)	Condições Limites para Água		$f_{\text{H}_2\text{O}}$ (t/h)
		$C_{i;\text{entra}}$ (mg/L)	$C_{i;\text{sai}}$ (mg/L)	
1	2,50	0	75	33,33
2	1,50	50	100	30,00
3	1,25	80	150	17,86
<b>Total</b>	<b>5,25</b>	<b>--x--</b>	<b>--x--</b>	<b>81,19</b>



# Mínimo Consumo de Água

- Para a obtenção do mínimo consumo de água, para todos os processos:
  - a concentração do contaminante na água de alimentação deve ser zero.;
  - A concentração do contaminante na saída deve ser a máxima.



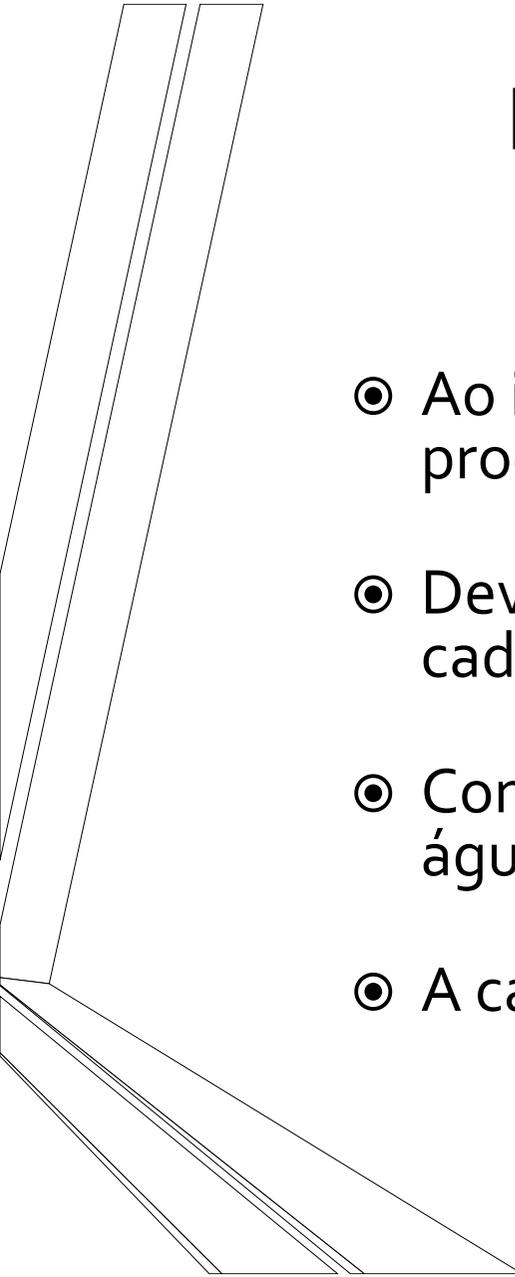
**Perfil para a obtenção do mínimo consumo de água**

# Mínimo Consumo de Água

$$f_{H_2O;\min} (t / h) = \frac{\Delta m_{i,\text{total}} (Kg / h)}{C_{i,\text{sai}}^{\text{limite}} (mg / L)} \cdot 10^3$$

<b>Processo</b>	<b>Demanda Mínima (t/h)</b>	<b>Concentração do Contaminante no Efluente (mg/L)</b>
1	33,33	75
2	15,00	100
3	8,33	150
<b>Total</b>	<b>56,66</b>	<b>92,66</b>

- Redução de 24,56 t/h na demanda de água



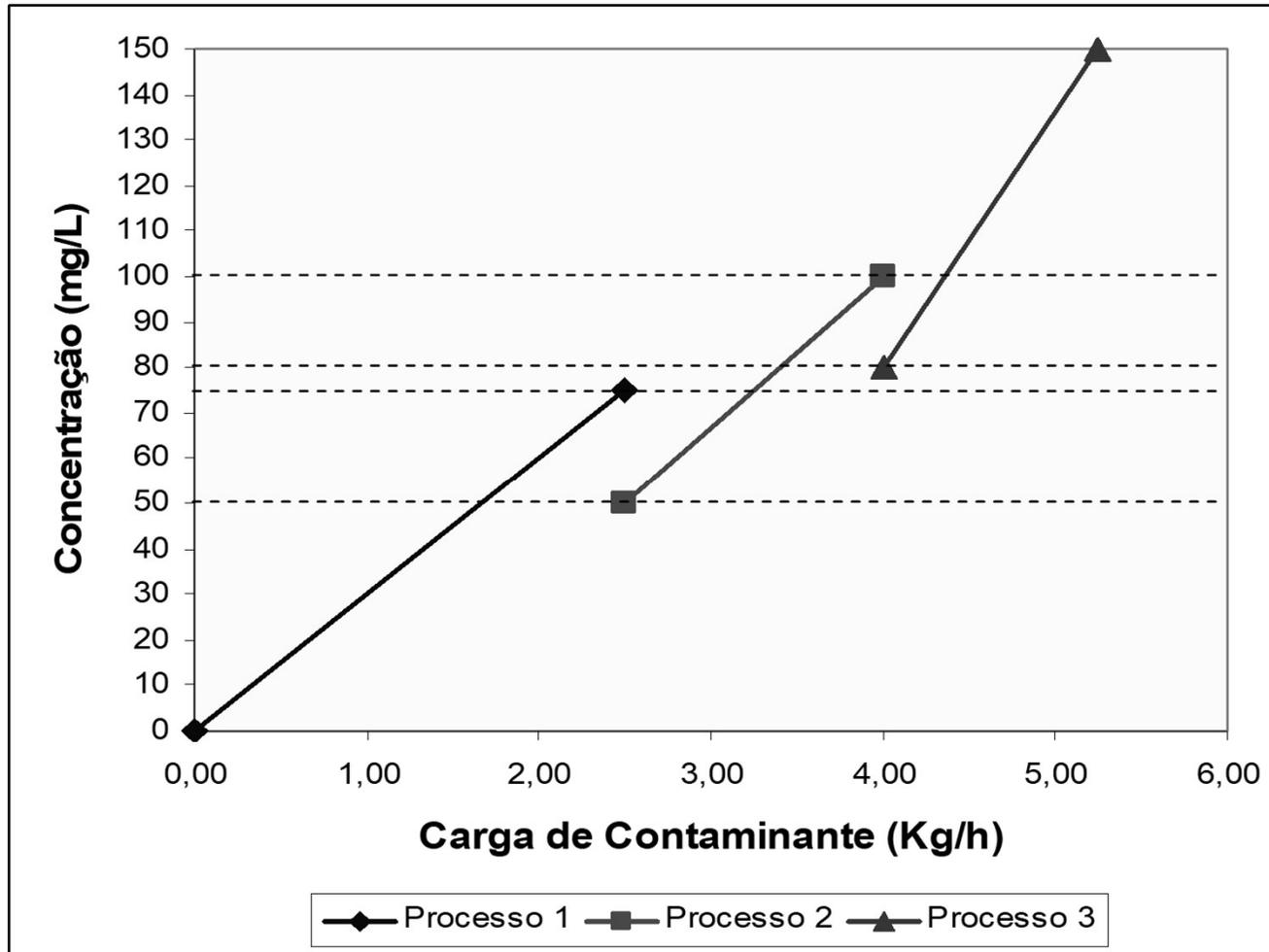
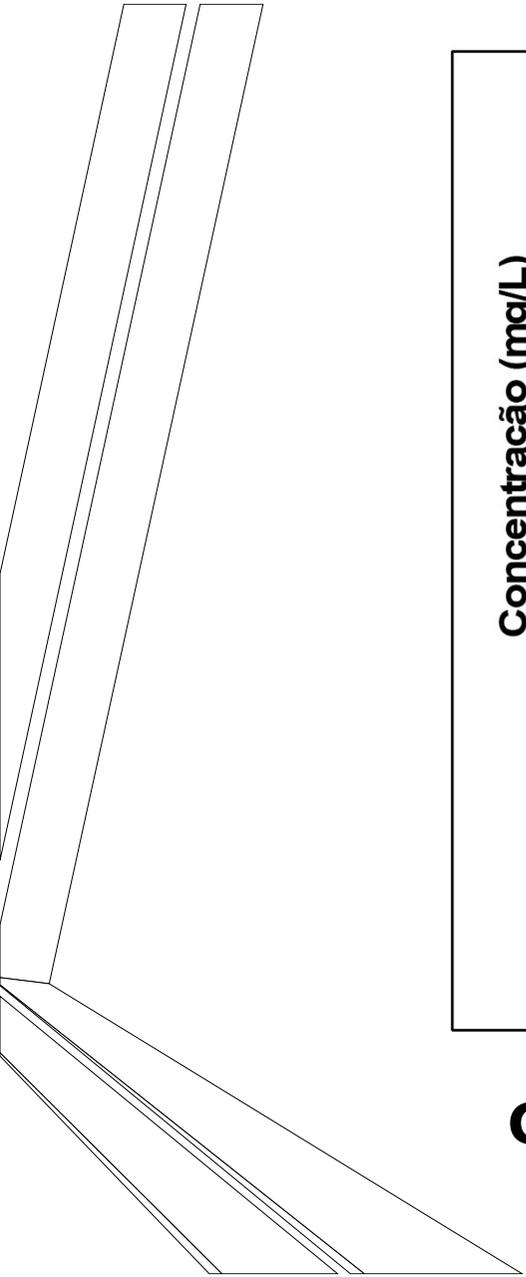
## Determinação do Ponto de Mínimo Consumo de Água com Reúso

- ⦿ Ao invés de utilizar água isenta do contaminante em todos os processos, utiliza-se o efluente de um processo em outro;
- ⦿ Devem ser respeitados os limites de qualidade da água em cada processo;
- ⦿ Com este procedimento ocorre, a redução na demanda de água e na geração de efluentes;
- ⦿ A carga de contaminantes não é alterada.

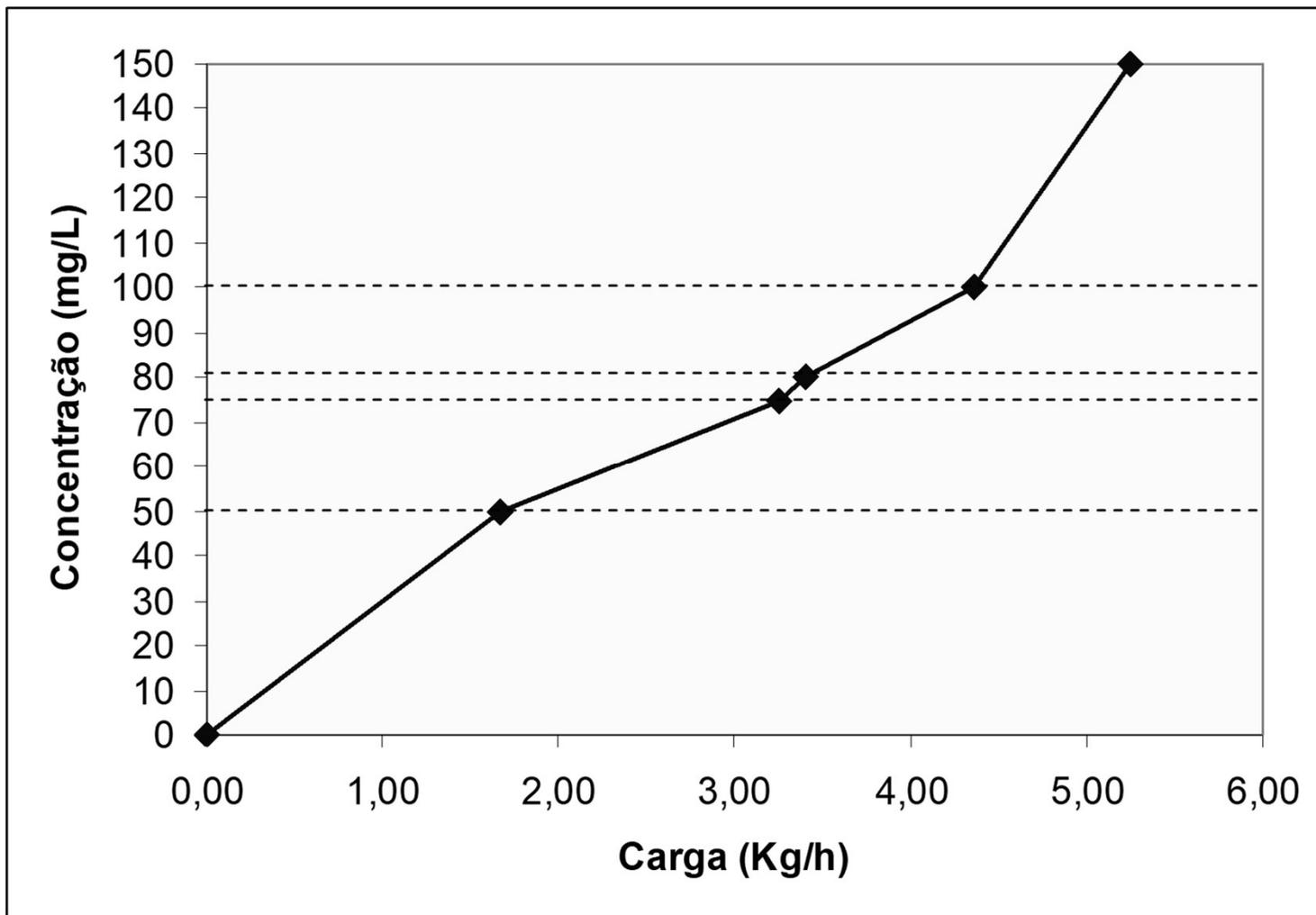
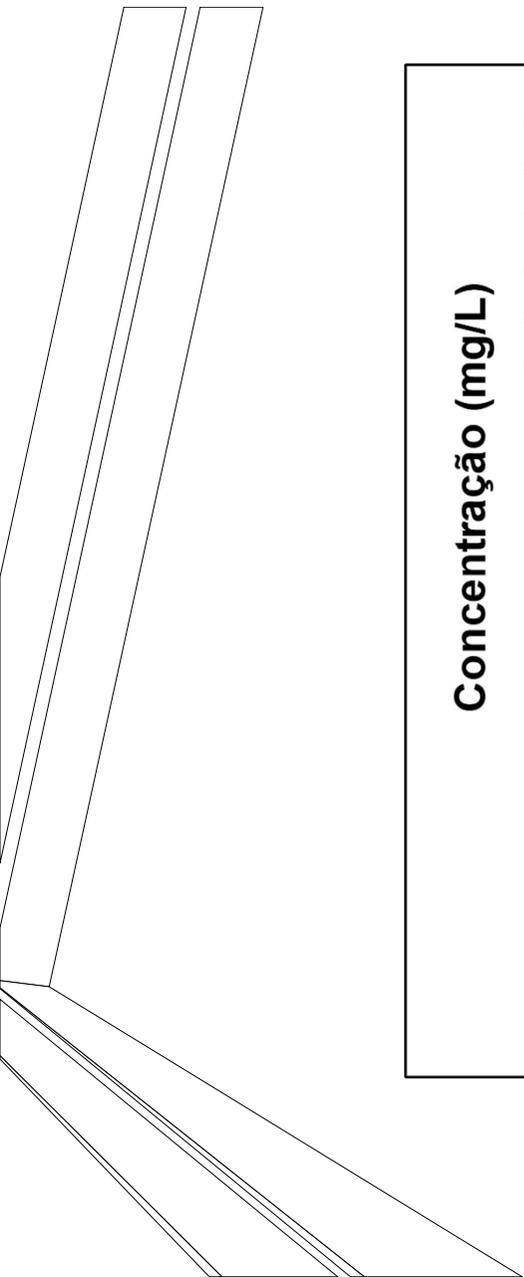
# Primeira e Segunda Etapas

- Intervalos de concentração e carga de contaminante acumulada

<b>Processo</b>	<b><math>C_{i;entra}</math> (mg/L)</b>	<b><math>C_{i;sai}</math> (mg/L)</b>	<b>Carga (t/h)</b>	<b>Carga Acumulada (t/h)</b>
1	0	75	2,50	2,50
2	50	100	1,50	4,00
3	80	150	1,25	5,25



**Gráfico da variação da concentração do contaminante com a carga**



**Curva composta de concentração**

# Terceira Etapa

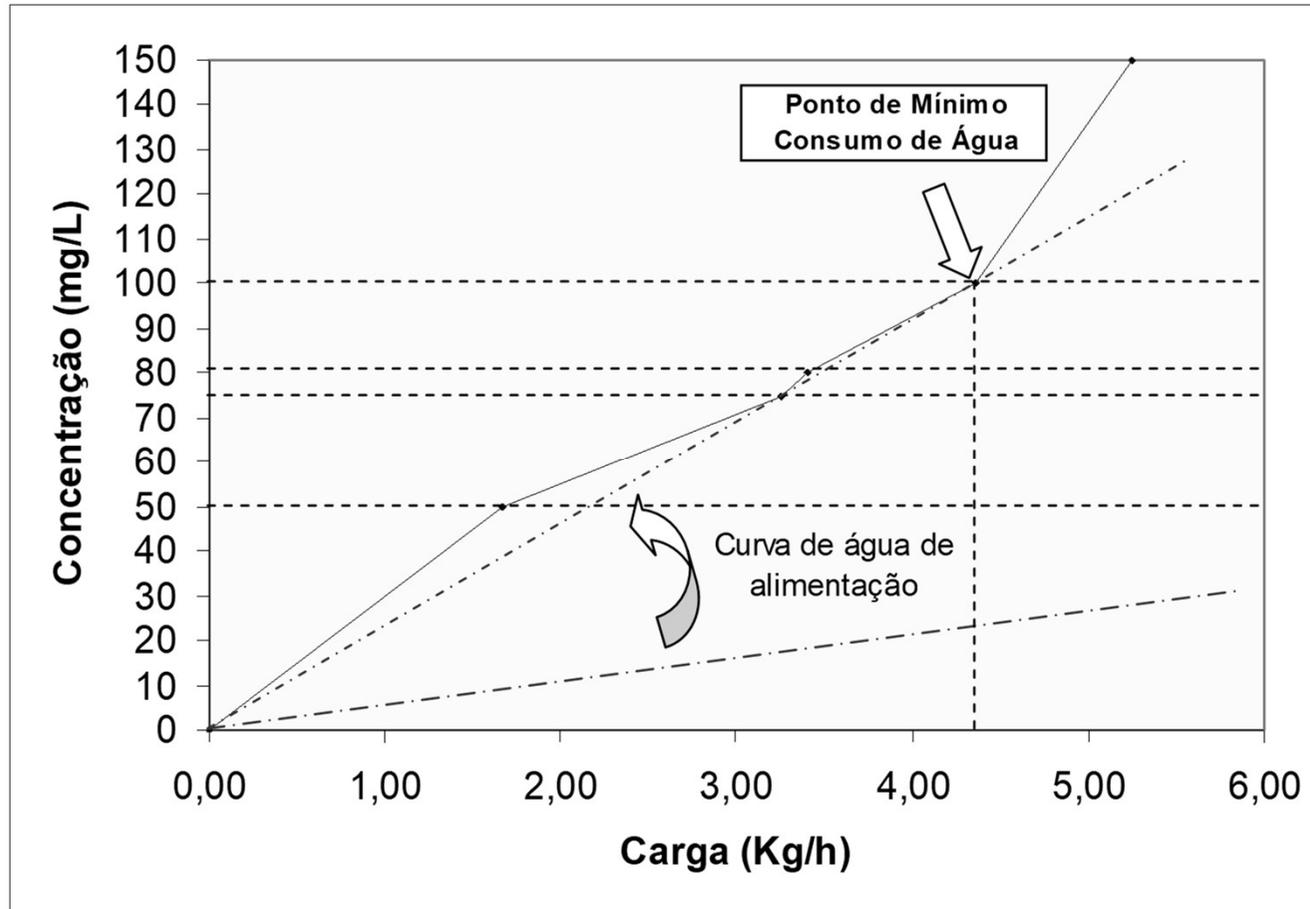
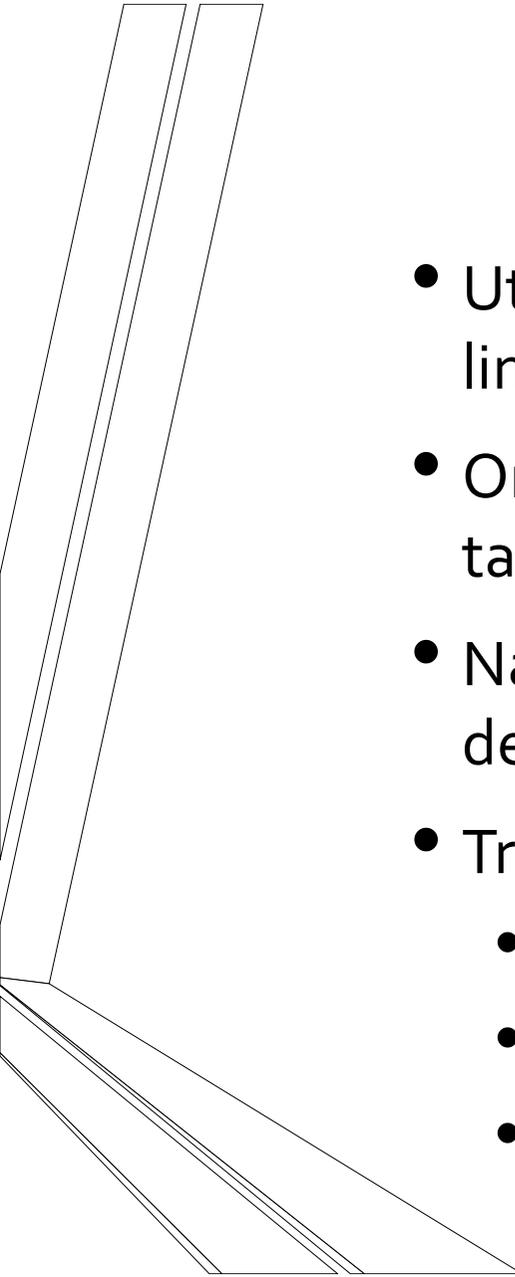


Gráfico para a obtenção do ponto de mínimo consumo de água

# Obtenção do Ponto de Mínimo Consumo de Água

- Pelo gráfico, o ponto de mínimo consumo de água corresponde:
  - Carga de sais acumulada = 4,36 Kg/h
  - Concentração do contaminante na água de alimentação = 100 mg/L
- Com base nestes valores obtém-se que o fluxo mínimo de água para o sistema é de 43,60 t/h.

$$f_{\min} = \frac{\Delta_{mi,\min}^*}{C_{i,\min}^*} \cdot 10^3$$



# Método tabular

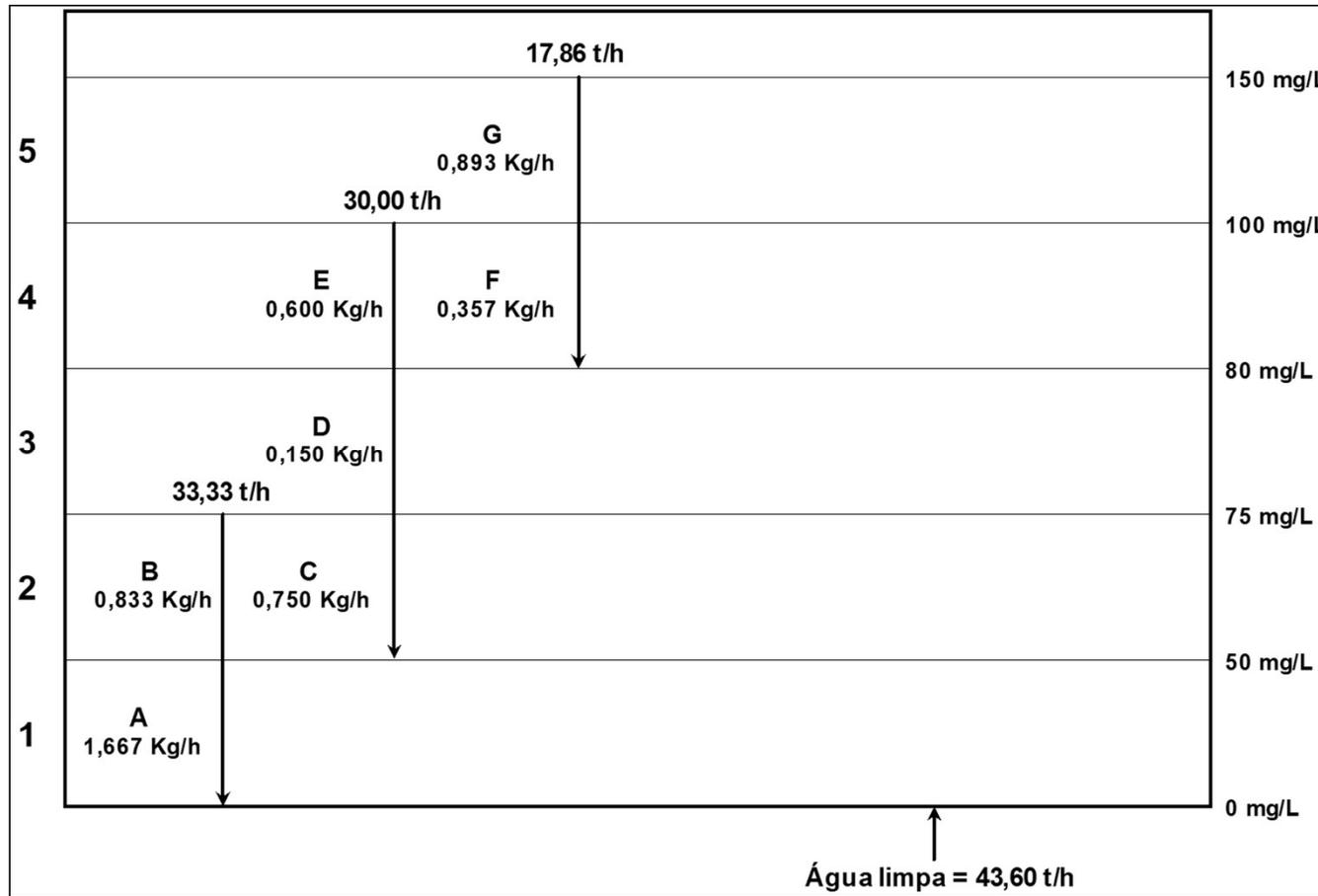
- Utilização dos intervalos de concentração para os valores limites;
- Organização do limites em ordem crescente em uma tabela;
- Na tabela devem ser indicados os processos e a demanda de água;
- Três colunas adicionais são utilizadas para indicar:
  - Carga de contaminante no intervalo;
  - Carga de contaminantes acumulada;
  - Fluxo de água necessário

## Tabela para a obtenção do ponto de mínimo consumo de água

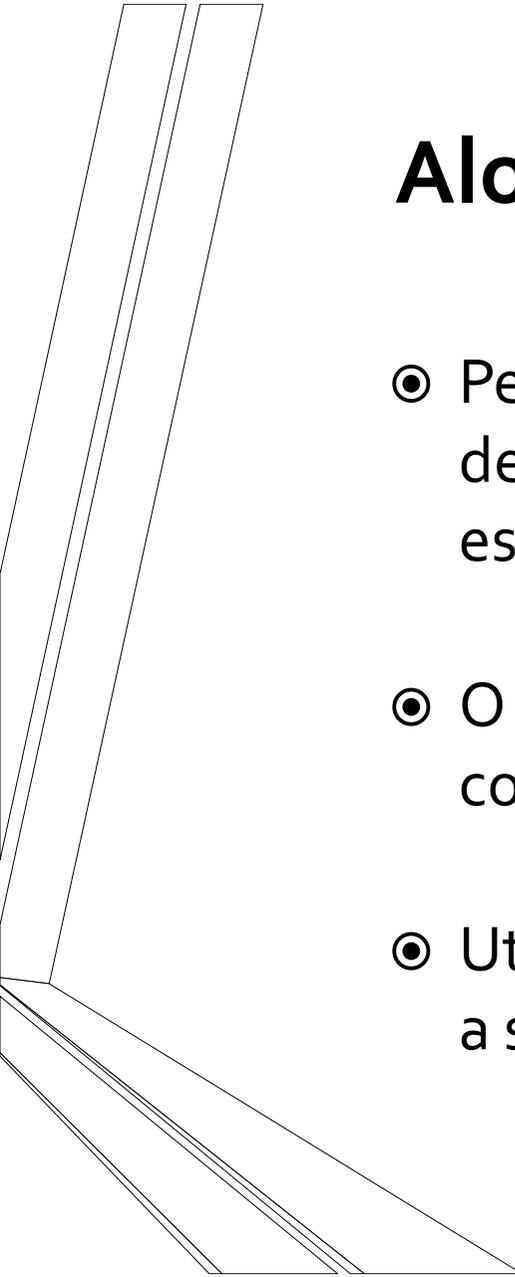
Intervalo de Concentração	Processo 1 (33,33 t/h)	Processo 2 (30,00 t/h)	Processo 3 (17,86 t/h)	Carga de Contaminante (Kg/h)	Carga Acumulada (Kg/h)	Fluxo de Água (t/h)
0					0,0	0,0
	↑			1,667		
50					1,667	33,33
		↑		1,583		
75					3,250	43,33
				0,150		
80					3,40	42,50
			↑	0,96		
100					4,36	43,60
				0,890		
150					5,25	35,00

- Após a construção da tabela, o ponto de mínimo consumo de água será representado pela linha que corresponde ao maior fluxo de água limpa determinado;

# Quarta Etapa

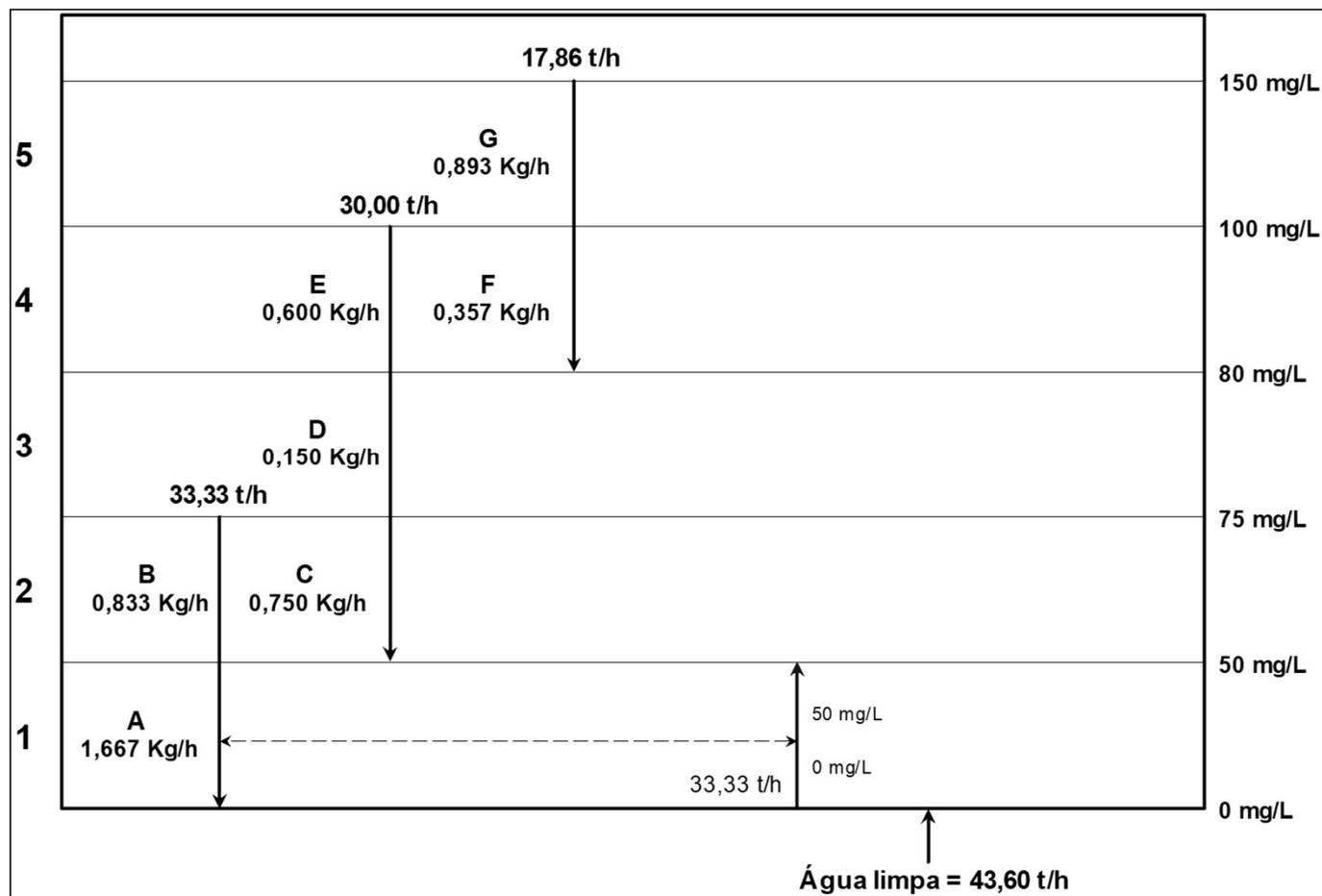


**Alocação dos Fluxos de Água e Efluentes**

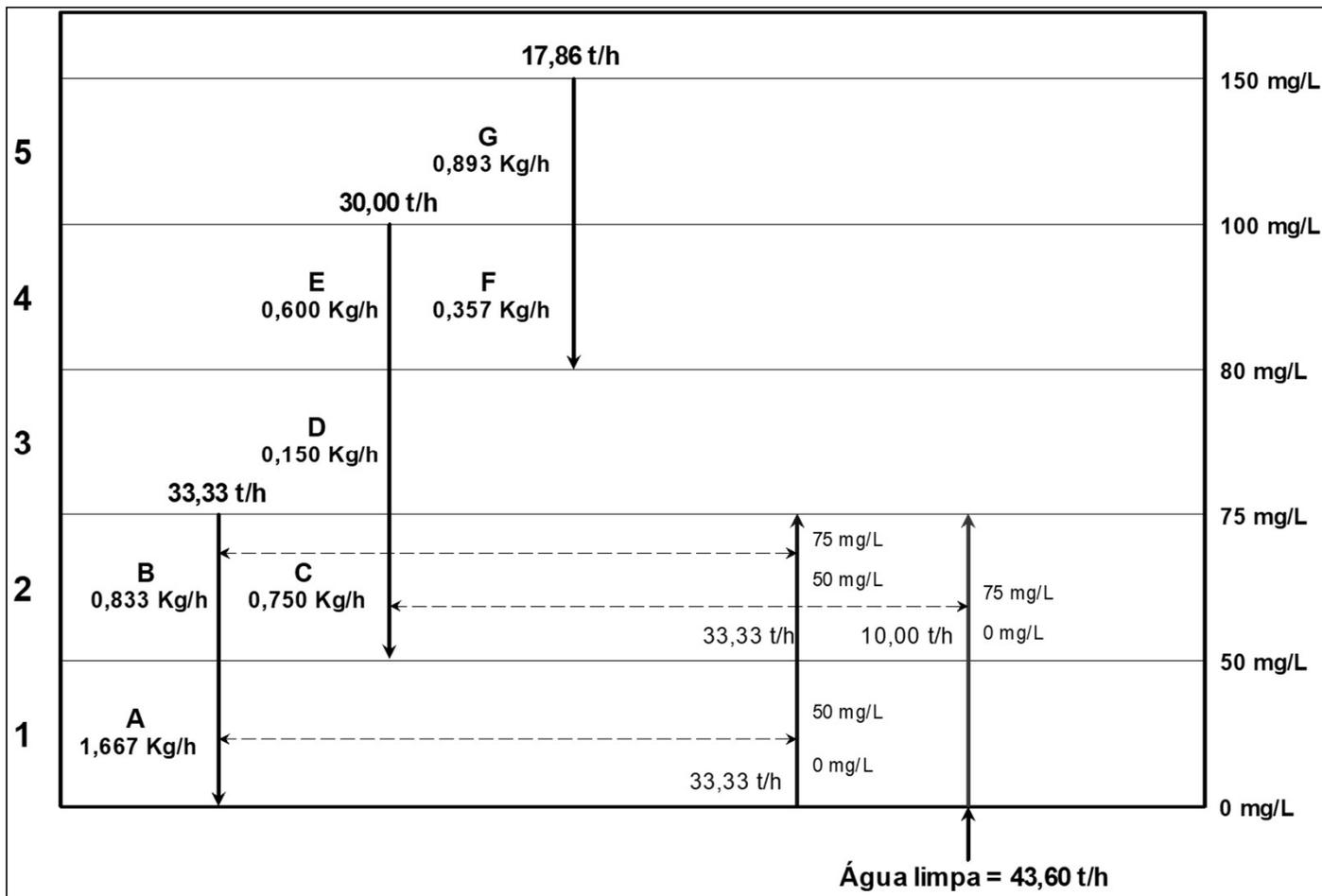


# Alocação dos Fluxos de Água e Efluentes

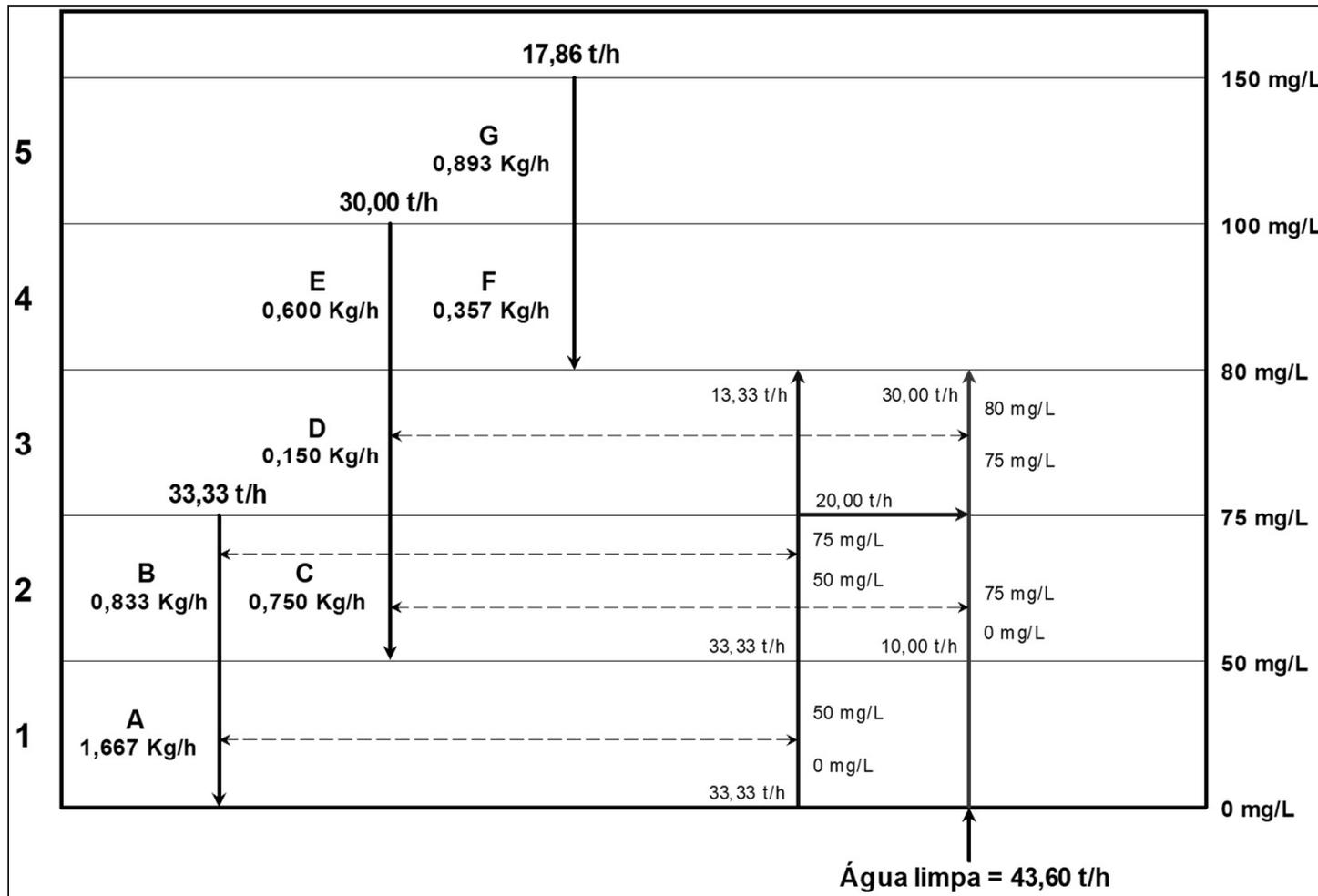
- Pelo diagrama, verifica-se que o primeiro fluxo de água deverá ser alocado o intervalo 1 de concentração, no qual está o processo 1A;
- O fluxo de água a ser alocado deve considerar a carga de contaminante a ser transferida;
- Utilizando-se as expressões desenvolvidas tem-se que o fluxo a ser alocado é de 33,33 t/h.



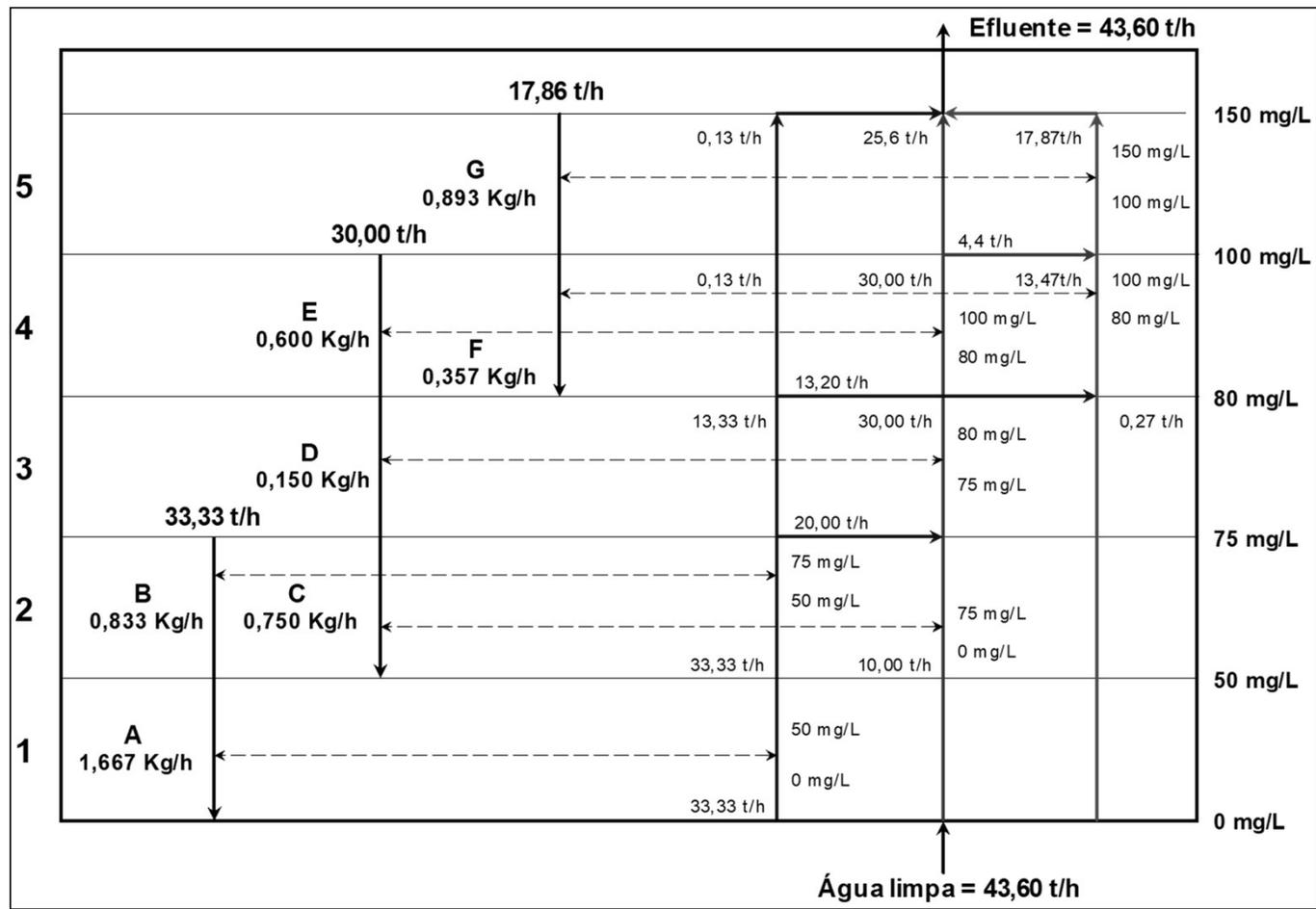
**Diagrama de alocação de água após a 1ª alocação**



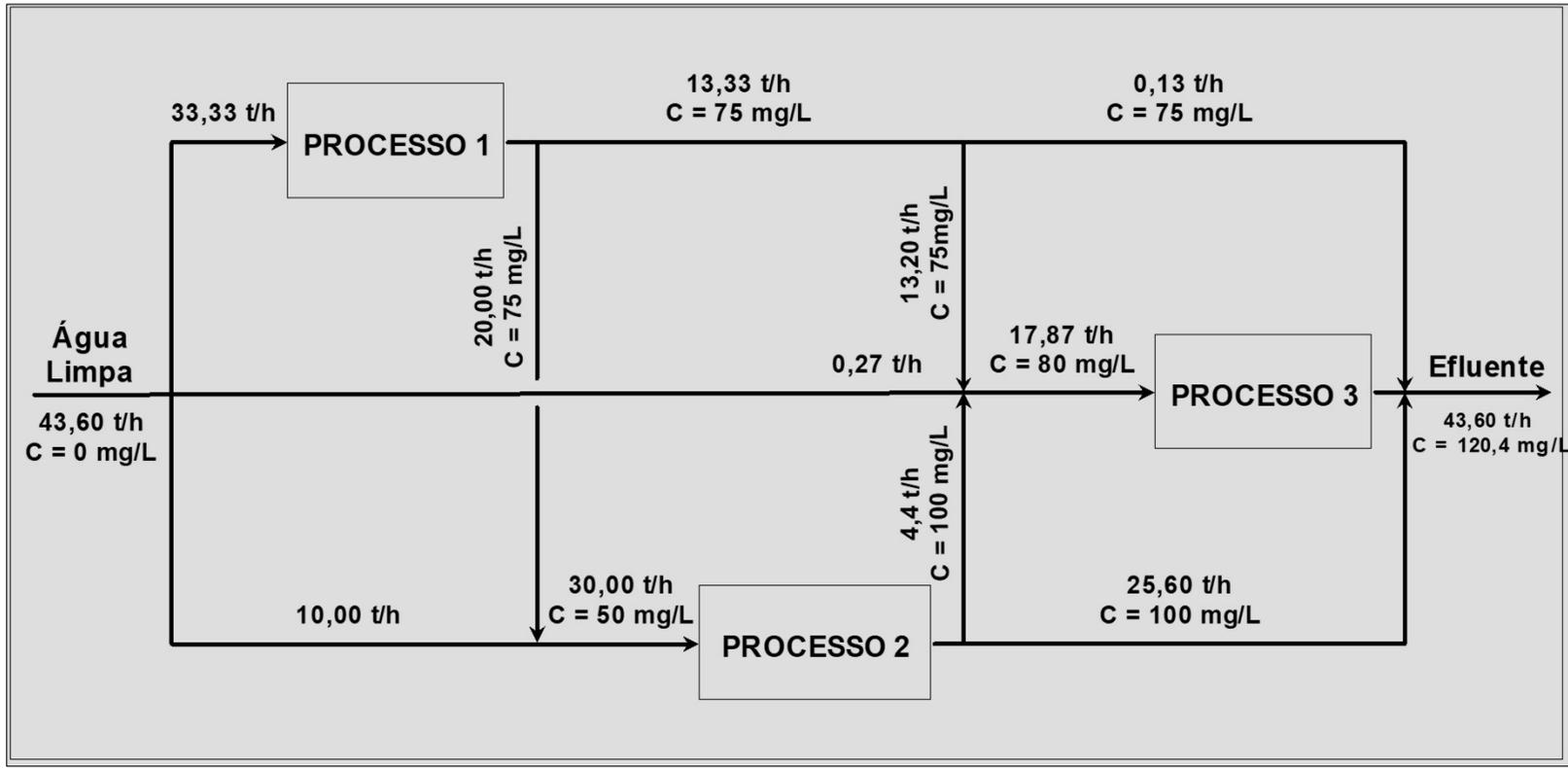
**Diagrama de alocação de água após a 2ª alocação**



**Diagrama de alocação de água após a 3ª alocação**



**Diagrama final de alocação de água**



**Diagrama final de distribuição de água e reúso**