



ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
HIDRÁULICA E AMBIENTAL

PHA 3360 – POLUIÇÃO E
QUALIDADE DA ÁGUA

PROF. DR. SIDNEY SECKLER FERREIRA FILHO





POLUIÇÃO E QUALIDADE DA ÁGUA

- **Introdução**
- **Ciclo biogeoquímico do nitrogênio**
- **Fontes de nitrogênio em águas naturais**
- **Tecnologias de remoção de nitrogênio**
- **Técnicas analíticas empregadas para a determinação de espécies nitrogenadas**





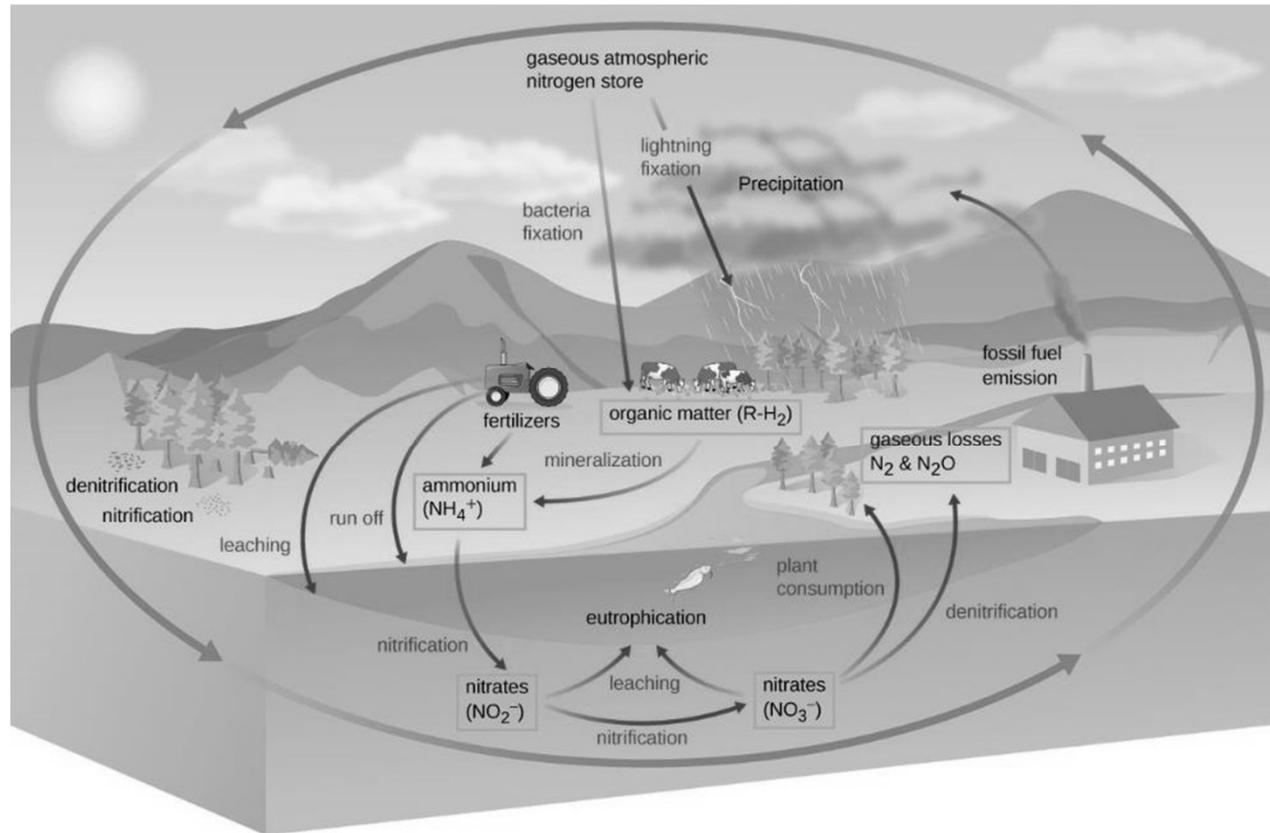
POLUIÇÃO E QUALIDADE DA ÁGUA

- **Ciclo biogeoquímico do fósforo**
- **Fontes de fósforo em águas naturais**
- **Tecnologias de remoção de fósforo**
- **Técnicas analíticas empregadas para a determinação de fósforo na fase líquida**
- **Comentários Finais**





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

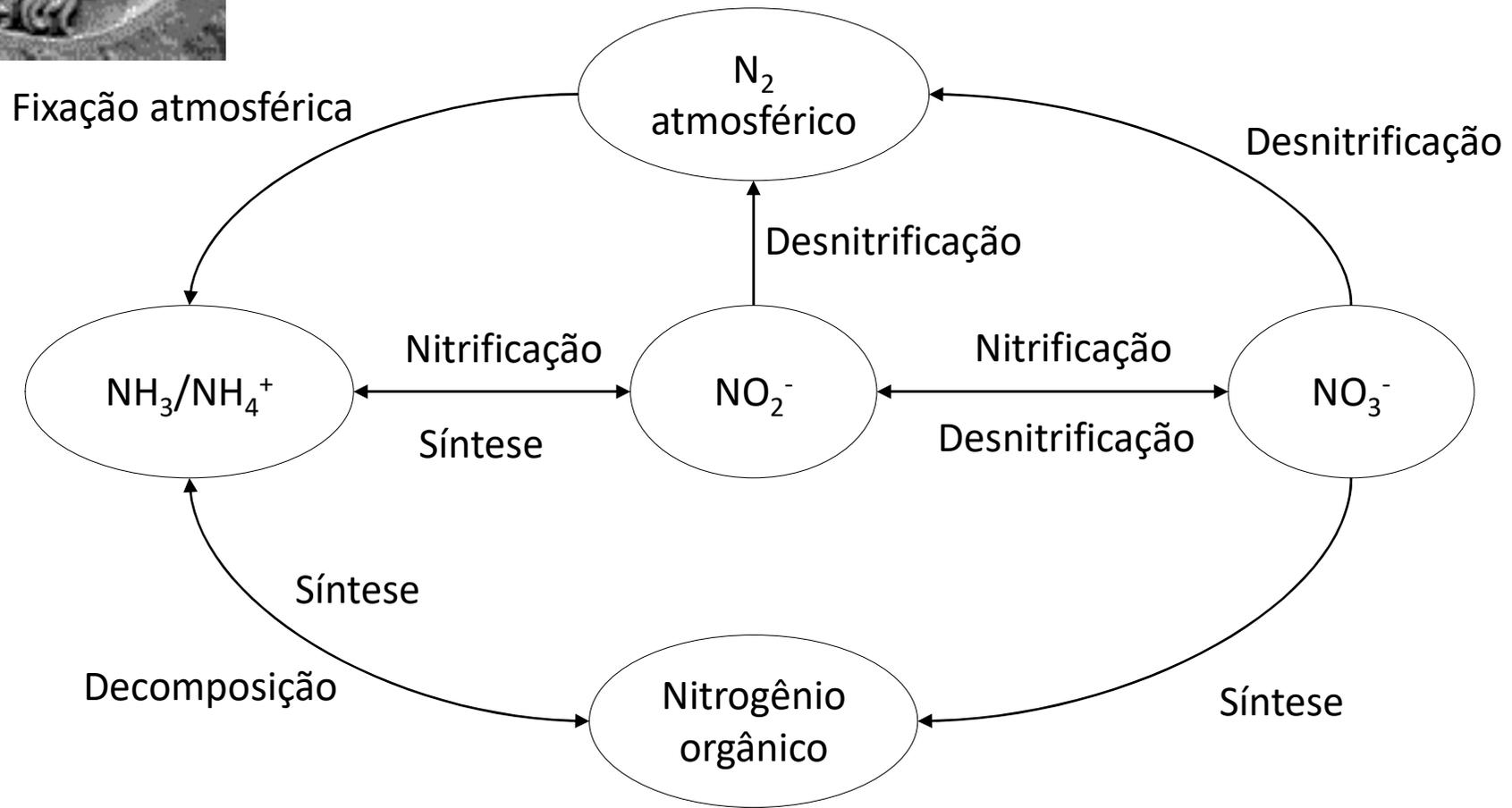


Nitrogen cycle





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- Lançamento de águas residuárias em corpos receptores !!
- Utilização de fertilizantes nitrogenados na agricultura !!
- Lançamento de efluentes industriais !!





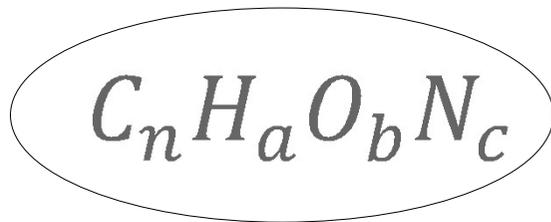
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

Parâmetro	Forte	Médio	Fraco
DBO _{5,20} (mg/L)	400	220	110
DQO (mg/L)	1.000	500	250
NKT (mg/L)	85	40	20
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	35	15	08
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	50	25	12
Fósforo Total (mg/L)	15	08	04
Sólidos em Suspensão (mg/L)	350	220	100

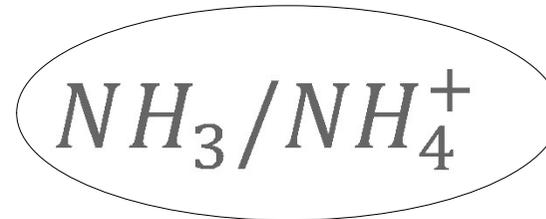




CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO



Nitrogênio orgânico !!



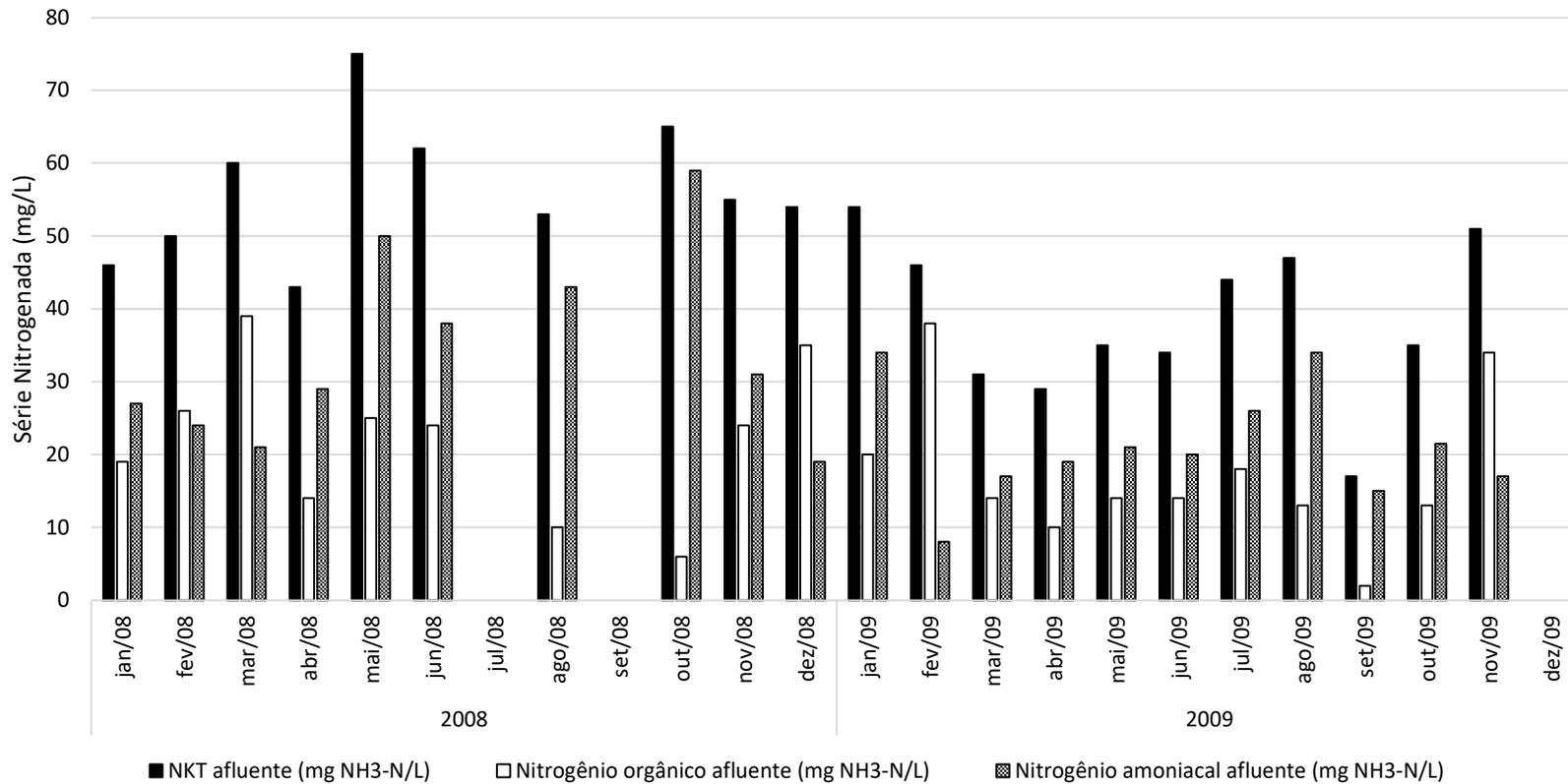
Nitrogênio amoniacal !!

- Nitrogênio Kjeldahl (NKT) = Nitrogênio orgânico + Nitrogênio amoniacal





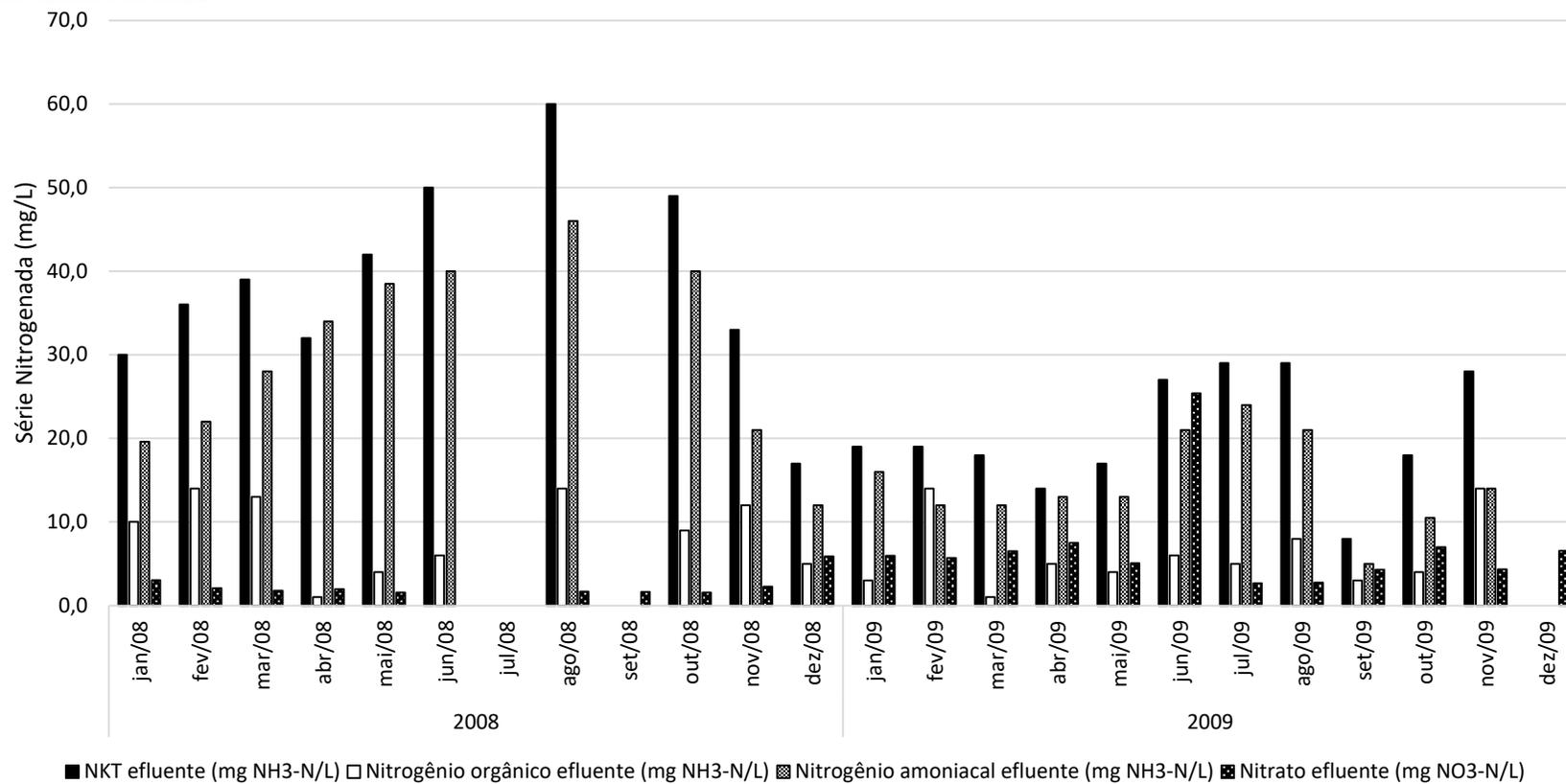
IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL



Estação de tratamento de esgotos de Franca – Sabesp



IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL



Estação de tratamento de esgotos de Franca – Sabesp



CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- As formas de nitrogênio mais comum em águas residuárias são na forma de nitrogênio orgânico e amoniacal !!
- As concentrações de nitrito e nitrato são desprezíveis !!





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- As formas de nitrogênio mais comum em águas residuárias são na forma de nitrogênio orgânico e amoniacal !!

- As concentrações de nitrito e nitrato são desprezíveis !!





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- Lançamento de águas residuárias em corpos receptores !!
- Utilização de fertilizantes nitrogenados na agricultura !!
- Lançamento de efluentes industriais !!





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- Lançamento de águas residuárias em corpos receptores !!
- Utilização de fertilizantes nitrogenados na agricultura !!
- Lançamento de efluentes industriais !!





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

- A amônia é altamente tóxica a vida aquática!!



$$\frac{[NH_3] \cdot [H^+]}{[NH_4^+]} = 10^{-9,3}$$

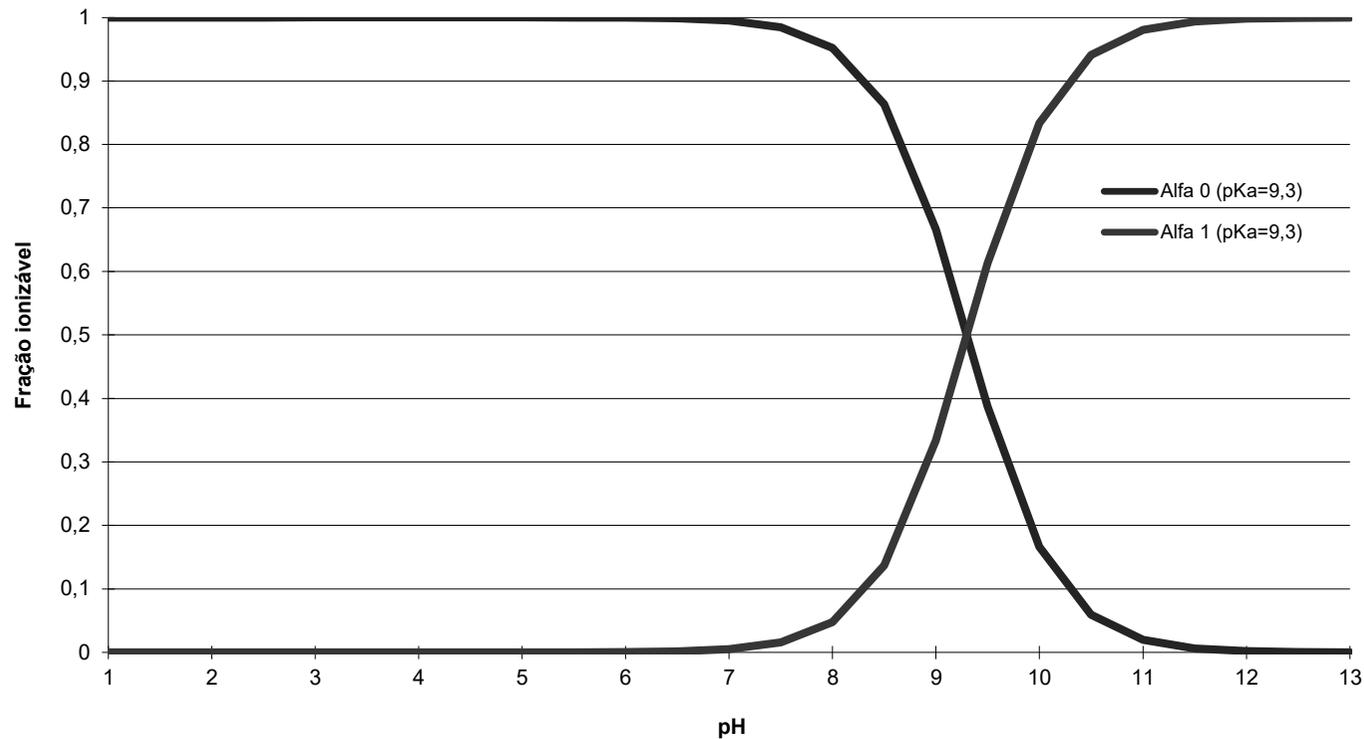




CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

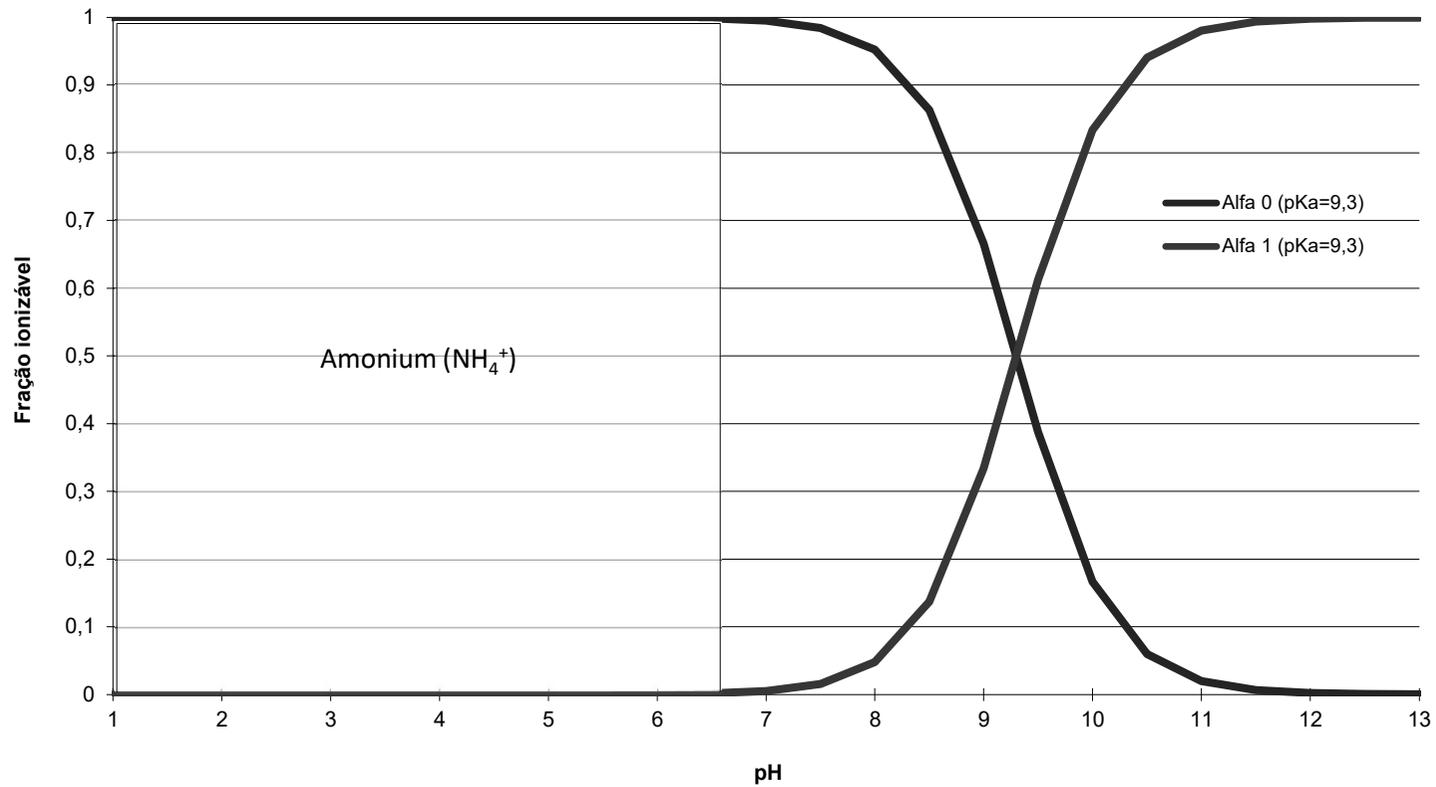
$$\alpha_0 = \frac{[NH_4^+]}{C_{T,N}} = \frac{[H^+]}{[H^+] + K_a}$$

$$\alpha_1 = \frac{[NH_3]}{C_{T,N}} = \frac{K_a}{[H^+] + K_a}$$



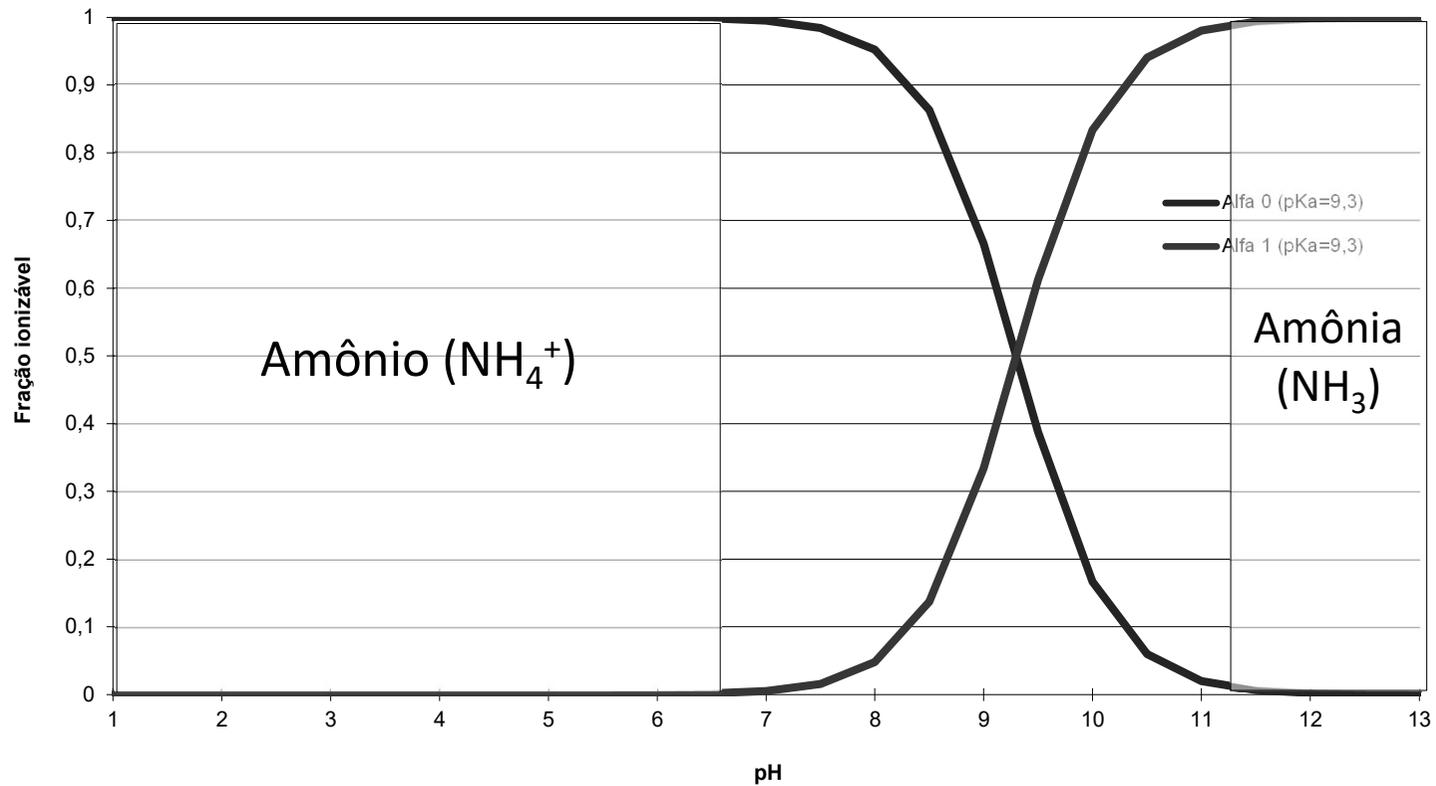


CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

- Padrão de lançamento para nitrogênio amoniacal total: 20 mg $\text{NH}_3\text{-N/L}$ (Resolução CONAMA 430 – 13/05/2011)





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

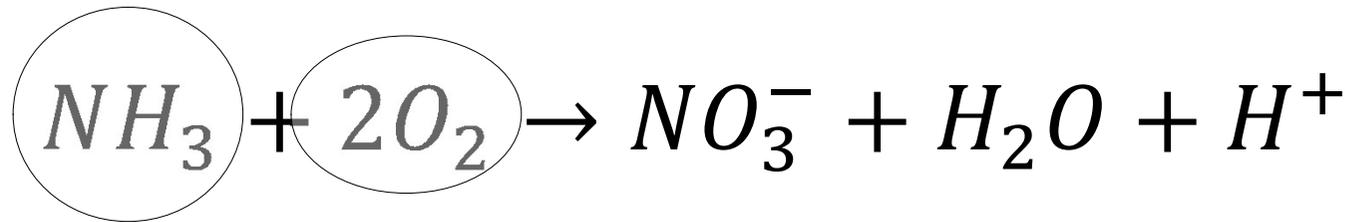
- Padrão de qualidade para corpos d'água Classe 2 (Resolução CONAMA 357 – 17/03/2005)
- 3,7 mg N/L ($\text{pH} \leq 7,5$)
- 2,0 mg N/L ($7,5 < \text{pH} \leq 8,0$)
- 1,0 mg N/L ($8,0 < \text{pH} \leq 8,5$)
- 0,5 mg N/L ($\text{pH} > 8,5$)





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

- Ocorrência de nitrificação e consumo de oxigênio na fase líquida !!



- 4,57 mg O₂/L consumido para a oxidação de 1 mg NH₃-N/L !!





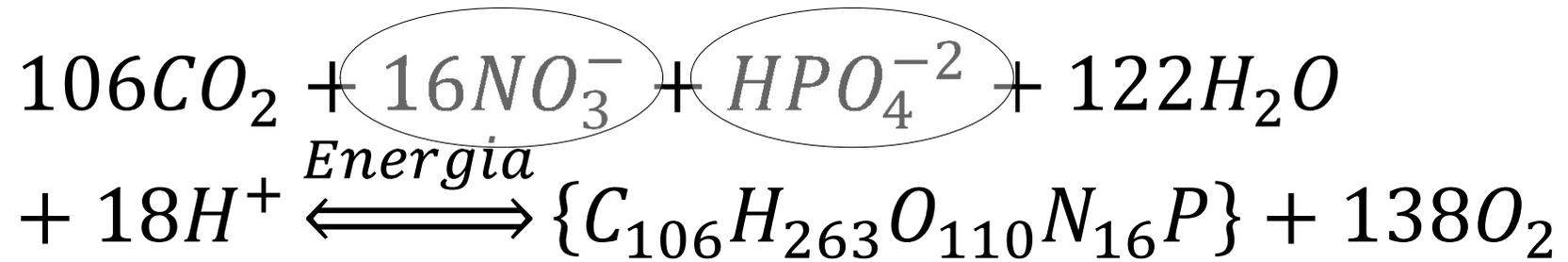
IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

- O enriquecimento de nutrientes (nitrogênio e fósforo) podem causar a eutrofização de corpos d'água) !!





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

- Os compostos nitrito e nitrato são Padrões de Potabilidade !!
- Nitrato: 10 mg $\text{NO}_3\text{-N/L}$
- Nitrito: 1 mg $\text{NO}_2\text{-N/L}$
- Amônia: 1,5 mg $\text{NH}_3\text{/L}$





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

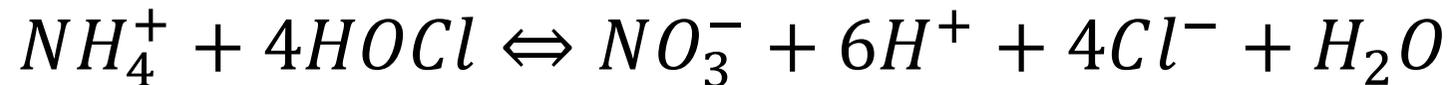
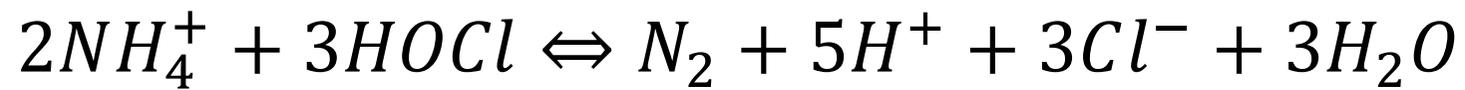
- A presença de nitrogênio amoniacal em águas para abastecimento público tende a aumentar a demanda de cloro !!
- Para cada 1,0 mg $\text{NH}_3\text{-N/L}$ são requeridos aproximadamente 7,6 mg $\text{Cl}_2\text{/L}$





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

■ Reações com nitrogênio amoniacal

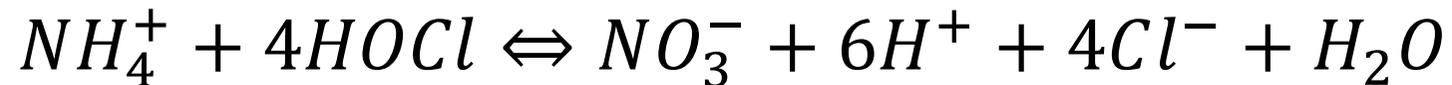
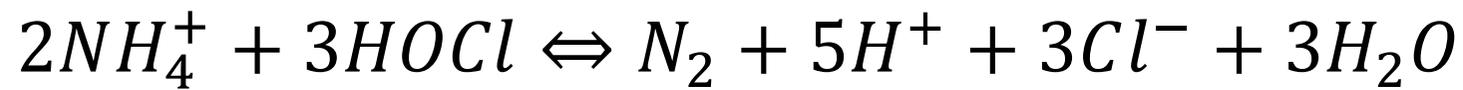


Cloração ao “break-point”



IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

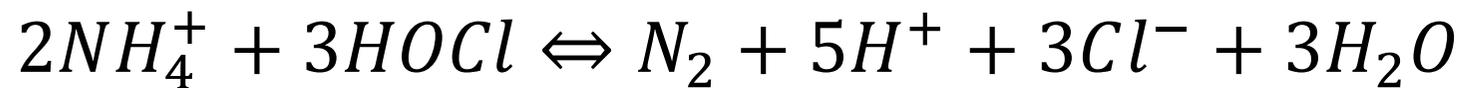
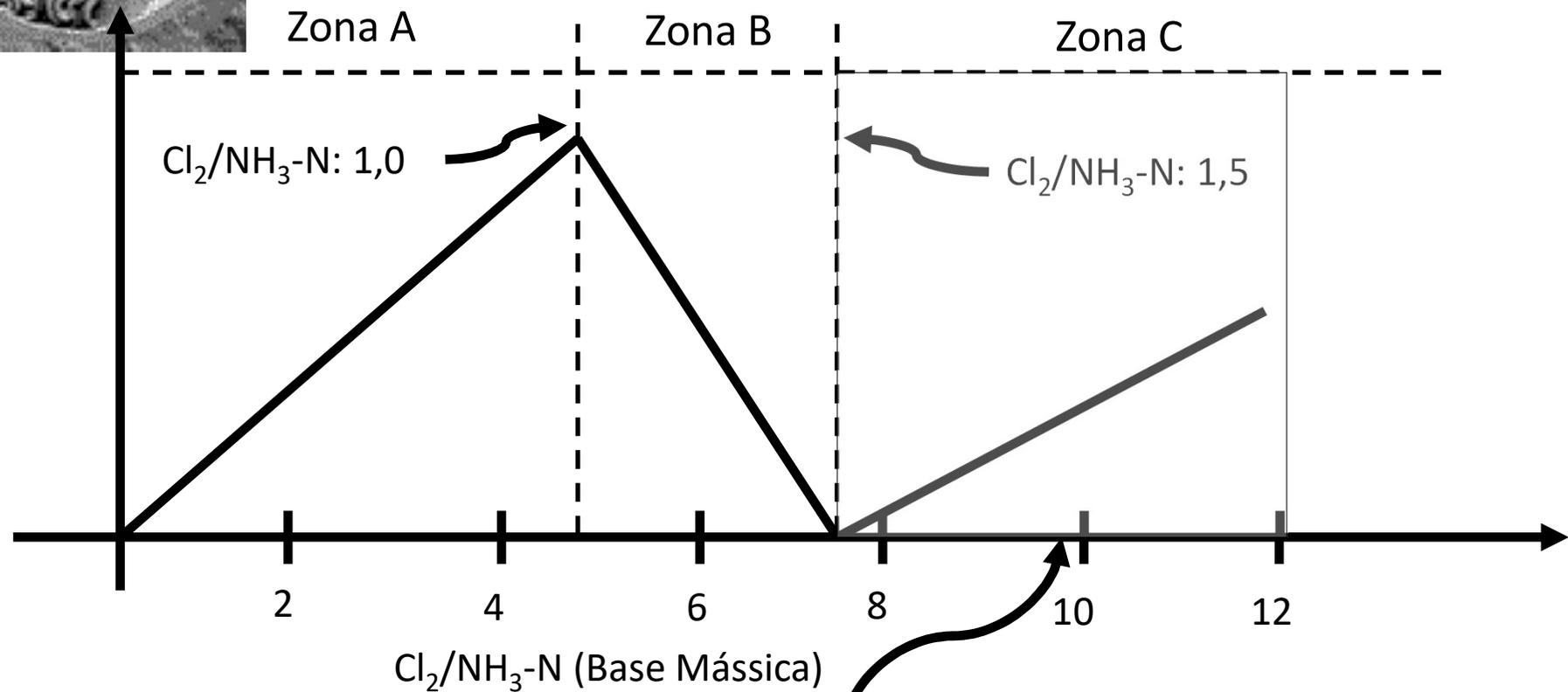
- Reações com nitrogênio amoniacal



Cloração ao “break-point”



IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

- Os elementos nitrogênio e fósforo são de grande importância para o controle de processos biológicos de tratamento !!
- Processos aeróbios
- Relação DBO:N:P
- (100:5:1)





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

- Os elementos nitrogênio e fósforo são de grande importância para o controle de processos biológicos de tratamento !!
- Processos anaeróbios
- Relação DQO:N:P
- (350:7:1)





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

- Tecnologias de remoção de nitrogênio em águas residuárias e efluentes industriais
- Processos biológicos de tratamento
- Processos de arraste com ar
- Cloração ao “break-point”
- Processos de adsorção em argilas minerais



CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

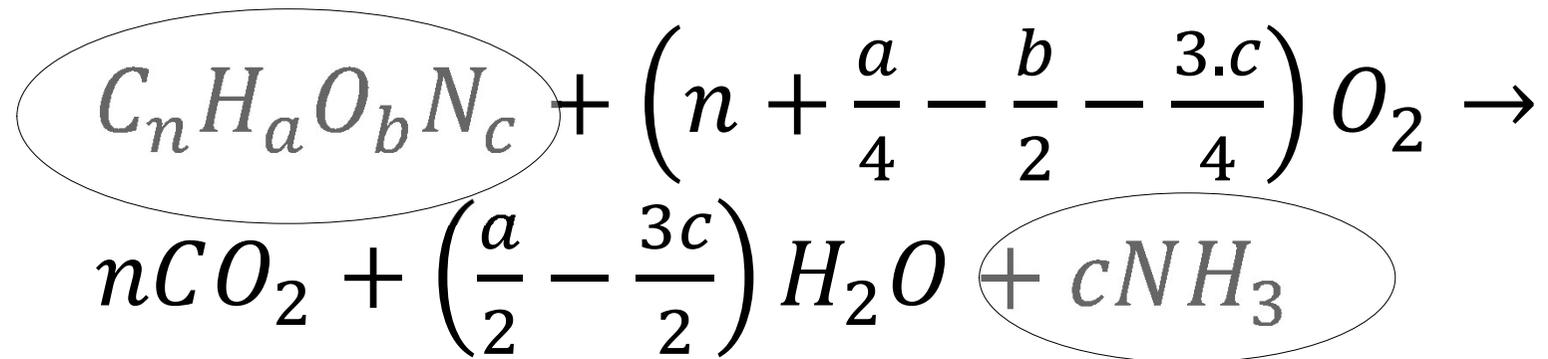
Parâmetro	Forte	Médio	Fraco
DBO _{5,20} (mg/L)	400	220	110
DQO (mg/L)	1.000	500	250
NKT (mg/L)	85	40	20
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	35	15	08
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	50	25	12
Fósforo Total (mg/L)	15	08	04
Sólidos em Suspensão (mg/L)	350	220	100





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- Conversão do nitrogênio orgânico a nitrogênio amoniacal





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- Conversão do nitrogênio amoniacal a nitrito e nitrato (nitrificação)





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- Conversão do nitrogênio amoniacal a nitrito e nitrato (nitrificação)





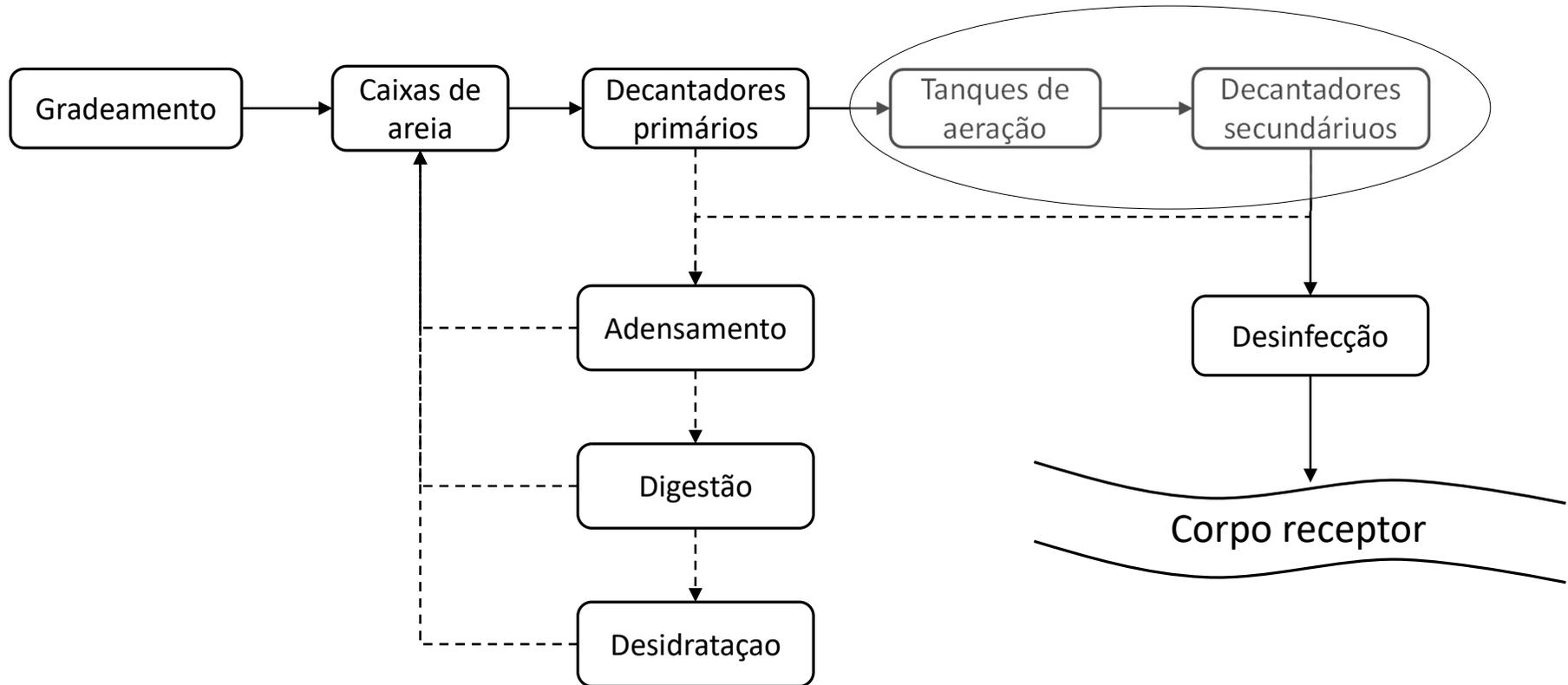
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- Conversão do nitrogênio amoniacal a nitrito e nitrato (nitrificação)





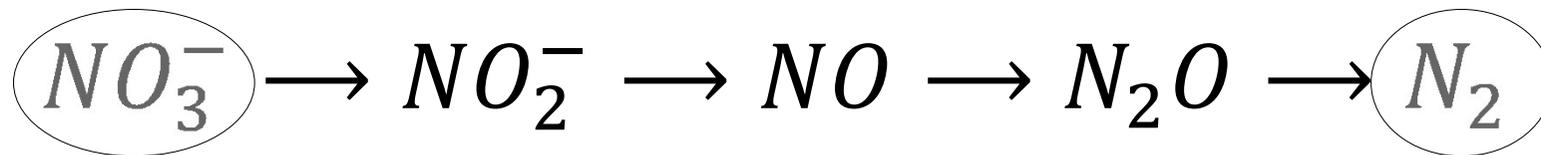
PROCESSO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS POR LODOS ATIVADOS





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- Conversão do nitrato a N_2 (desnitrificação)

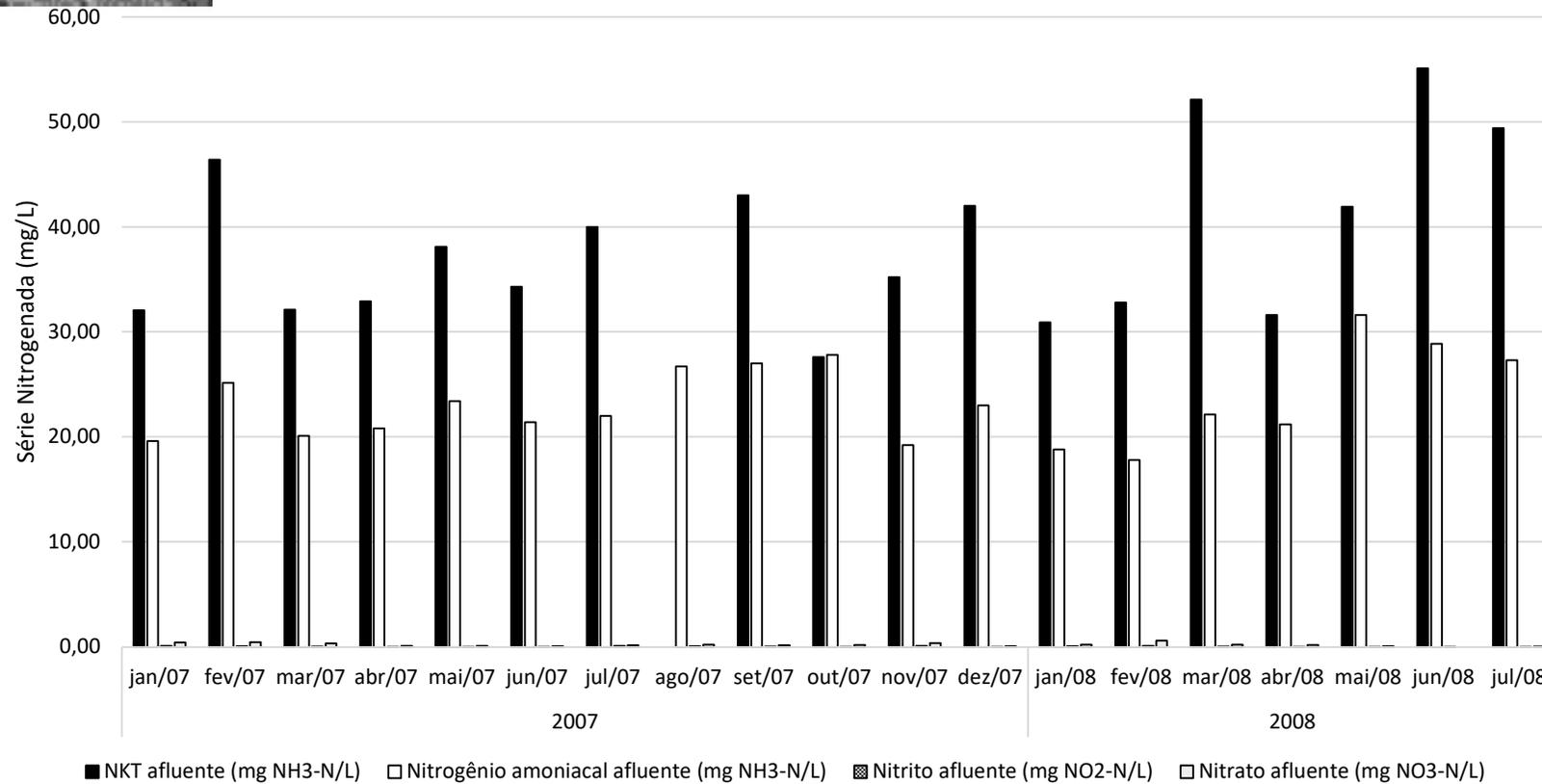


- Ambiente anóxico !
- Requer uma fonte de carbono orgânico !





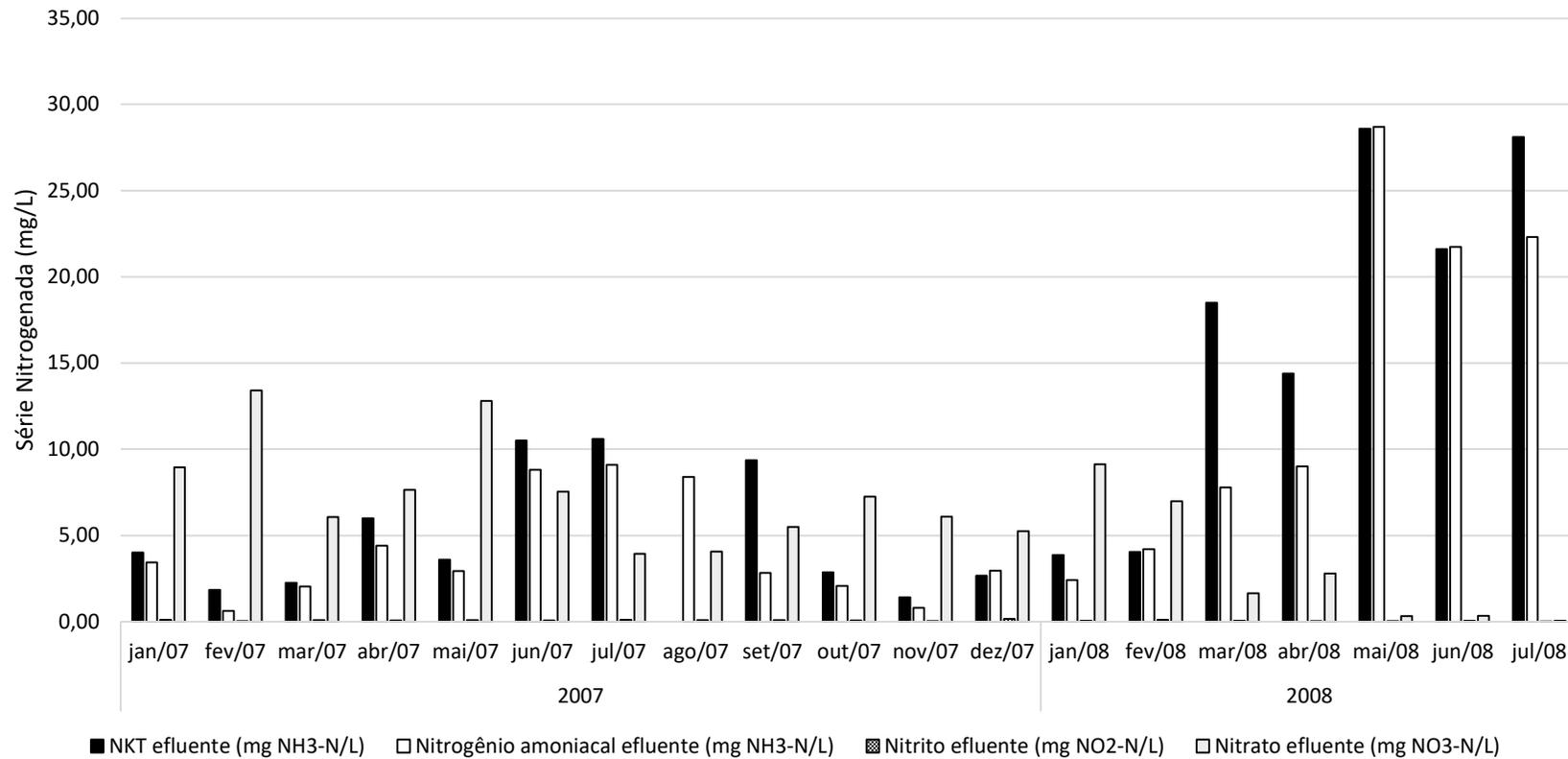
IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL



Estação de tratamento de esgotos ABC – Sabesp



IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL



Estação de tratamento de esgotos ABC – Sabesp



IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

- Tecnologias de remoção de nitrogênio em águas residuárias e efluentes industriais
- Processos biológicos de tratamento
- Processos de arraste com ar
- Cloração ao “break-point”
- Processos de adsorção em argilas minerais



CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- Remoção de amônia por arraste com ar !!
- Elevação do pH
- Introdução de ar
- Transferência da amônia da fase líquida para a fase gasosa





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

- Tecnologias de remoção de nitrogênio em águas residuárias e efluentes industriais
- Processos biológicos de tratamento
- Processos de arraste com ar
- Cloração ao “break-point”
- Processos de adsorção em argilas minerais





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- Remoção de nitrogênio amoniacal por cloração ao “break-point” !!
- Cada 1,0 mg $\text{NH}_3\text{-N/L}$ requer 7,6 mg $\text{Cl}_2\text{/L}$
- Apenas recomendada para baixas concentrações de nitrogênio amoniacal !!





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

- Tecnologias de remoção de nitrogênio em águas residuárias e efluentes industriais
- Processos biológicos de tratamento
- Processos de arraste com ar
- Cloração ao “break-point”
- Processos de adsorção em argilas minerais



CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- Remoção de nitrogênio amoniacal por adsorção em argilas naturais !!
- Apenas recomendada para baixas concentrações de nitrogênio amoniacal !!





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

- Tecnologias de remoção de nitrogênio na forma de nitrato em águas subterrâneas e águas de abastecimento

▪ Troca iônica

▪ Osmose reversa





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- Remoção de nitrogênio na forma de nitrato por troca iônica !!
- Largamente utilizado na remoção de nitrato em águas subterrâneas !!





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

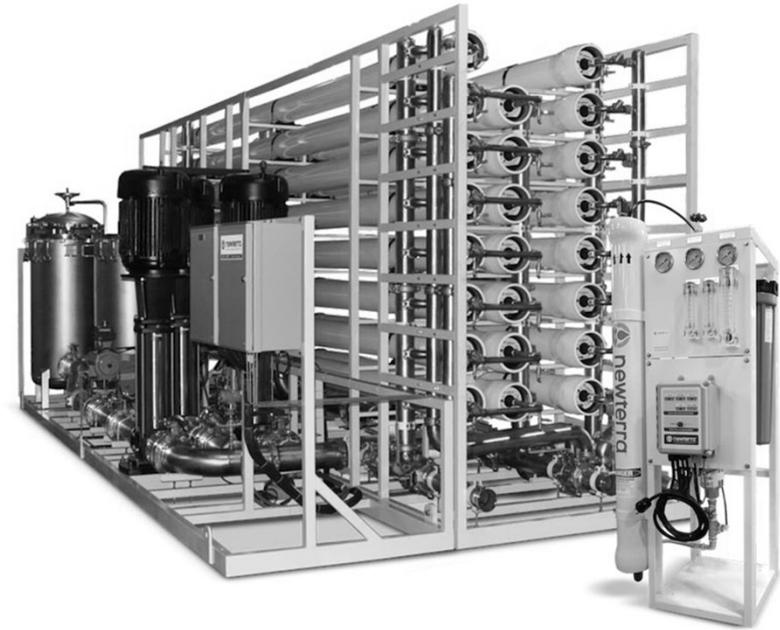
- Tecnologias de remoção de nitrogênio na forma de nitrato em águas subterrâneas e águas de abastecimento
- Troca iônica
- Osmose reversa





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

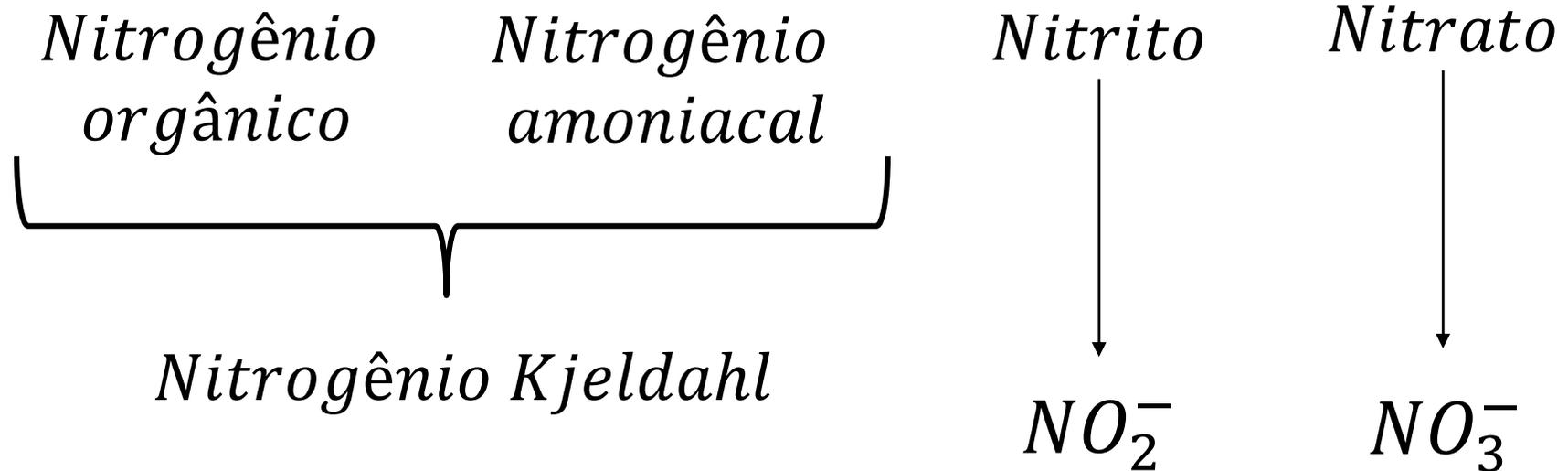
- Remoção de nitrogênio na forma de nitrato por osmose reversa !!
- Alternativa mais cara do que quando comparado com troca iônica !!
- Recomendável para altas vazões !!





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- Determinação de espécies nitrogenadas na fase líquida !!





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- Análise de nitrogênio amoniacal por destilação !!
- Elevação do pH
- Destilação da amostra
- Solução de ácido bórico
- Titulação com ácido sulfúrico





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- Análise de nitrogênio kjeldahl por digestão e destilação !!
- Digestão da amostra
- Elevação do pH
- Destilação da amostra
- Solução de ácido bórico
- Titulação com ácido sulfúrico





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

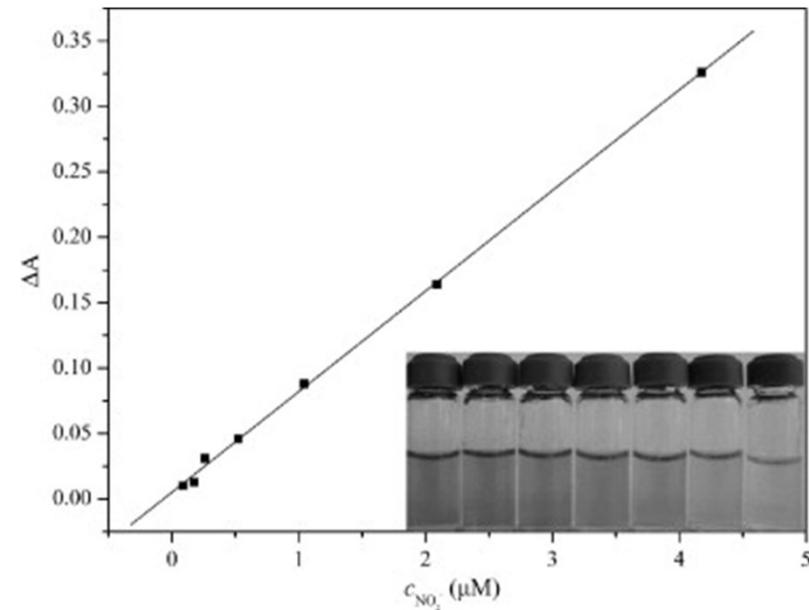
- Análise de nitrogênio amoniacal por eletrodo de íons seletivos !!
- Calibração do equipamento
- Elevação do pH
- Recomendado para baixas concentrações





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

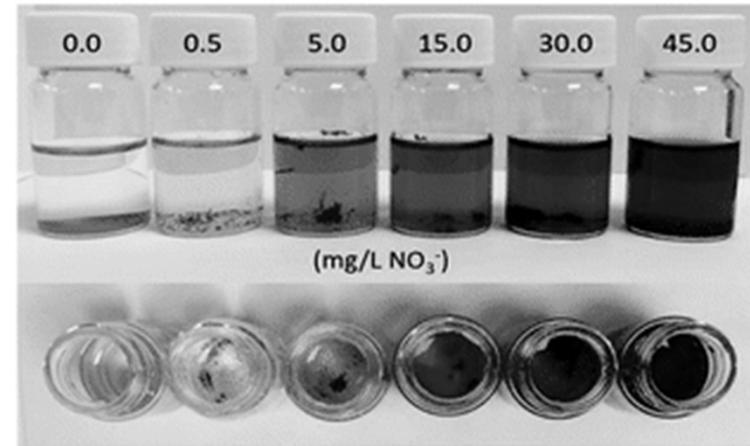
- Análise de íons nitrito por colorimetria !!
- Recomendado para baixas concentrações
- Reação com sulfanilamida
- Reação com etilenodiamina





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- Análise de íons nitrato por colorimetria !!
- Recomendado para baixas concentrações
- Redução de nitrato a nitrito
- Reação com sulfanilamida
- Reação com etilenodiamina





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- Análise de nitrato por eletrodo de íons seletivos !!

- Calibração do equipamento

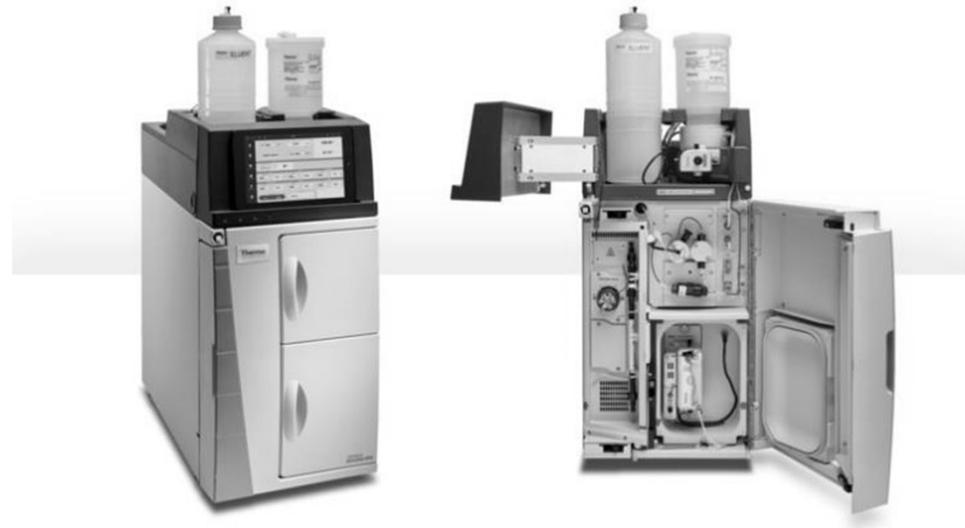
- Recomendado para baixas concentrações





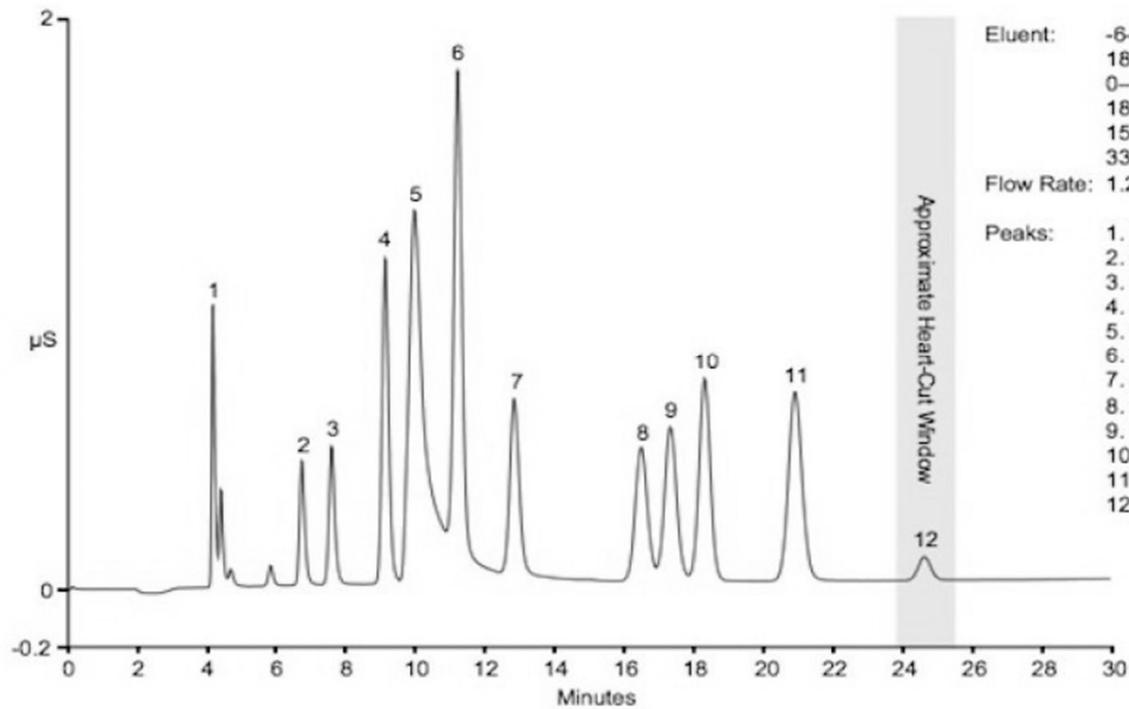
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO

- Análise de íons nitrito e nitrato por cromatografia de íons !!
- Calibração do equipamento
- Método mais preciso e atualmente o mais empregado comercialmente !!





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: SÉRIE DE NITROGÊNIO



Eluent: -6-0 min,
18 mM KOH
0-15 min,
18-33 mM KOH
15-25 min,
33-53 mM KOH

Flow Rate: 1.2 mL/min

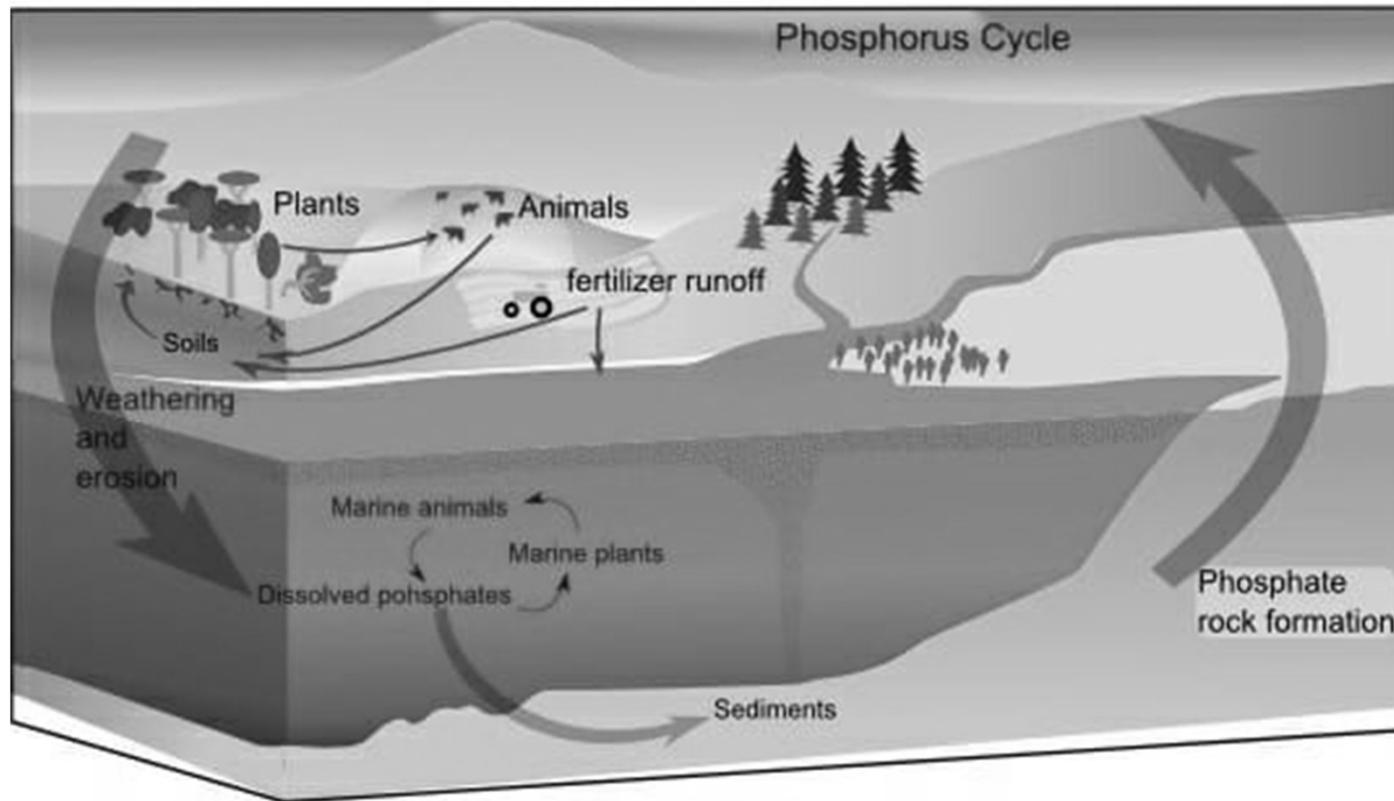
Peaks: 1. Fluoride
2. Chlorite
3. Bromate
4. Chloride
5. Carbonate
6. Sulfate
7. Nitrite
8. Chlorate
9. Bromide
10. Phosphate
11. Nitrate
12. Chromate

28291





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: FÓSFORO





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: FÓSFORO

- Lançamento de águas residuárias em corpos receptores !!
- Utilização de fertilizantes fosforados na agricultura !!
- Lançamento de efluentes industriais !!





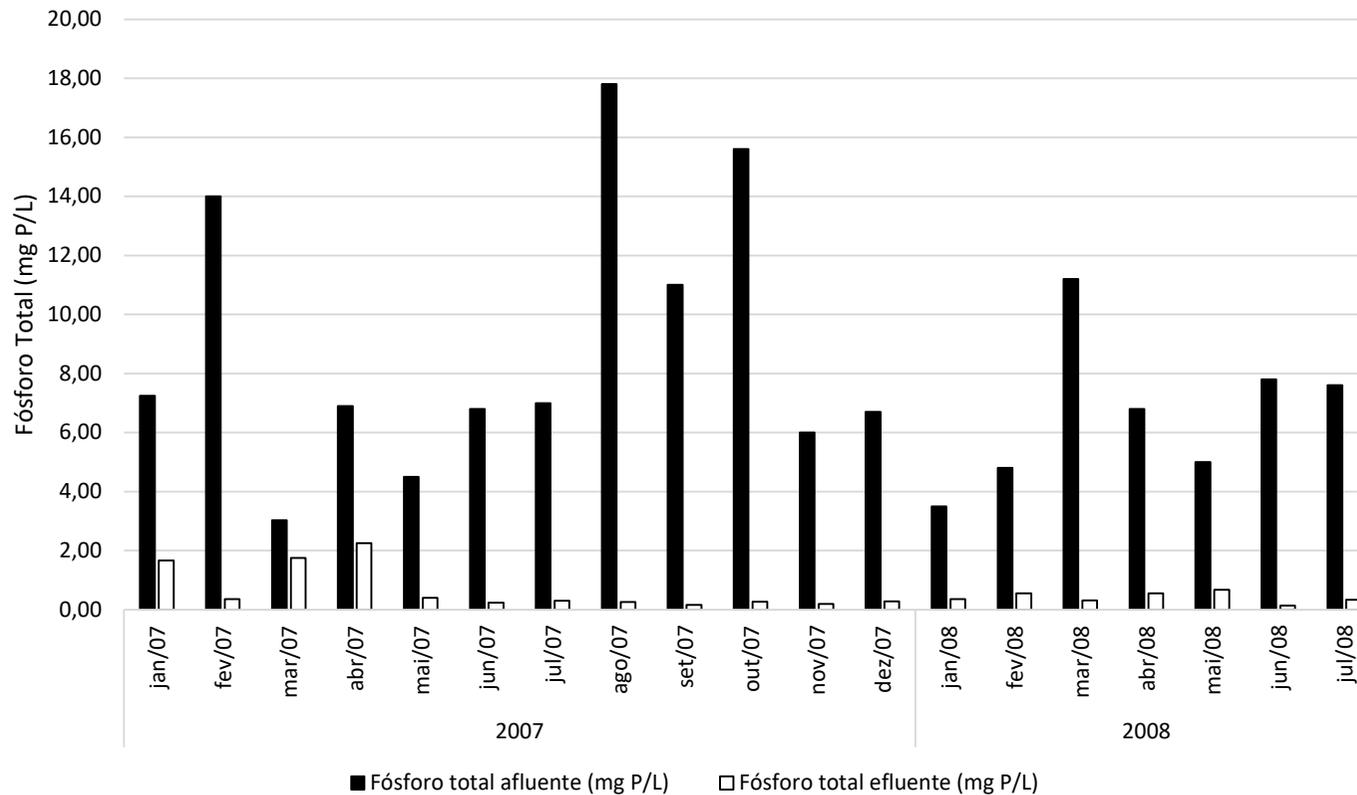
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: FÓSFORO

Parâmetro	Forte	Médio	Fraco
DBO _{5,20} (mg/L)	400	220	110
DQO (mg/L)	1.000	500	250
NKT (mg/L)	85	40	20
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	35	15	08
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	50	25	12
Fósforo Total (mg/L)	15	08	04
Sólidos em Suspensão (mg/L)	350	220	100





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL



Estação de tratamento de esgotos ABC – Sabesp



CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: FÓSFORO

- Lançamento de águas residuárias em corpos receptores !!
- Utilização de fertilizantes fosforados na agricultura !!
- Lançamento de efluentes industriais !!





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: FÓSFORO

- Lançamento de águas residuárias em corpos receptores !!
- Utilização de fertilizantes fosforados na agricultura !!
- Lançamento de efluentes industriais !!

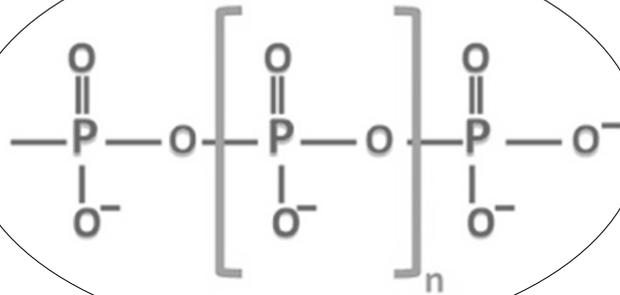




CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: FÓSFORO



Fósforo orgânico !!



Polifosfatos !!



Ortofosfatos !!





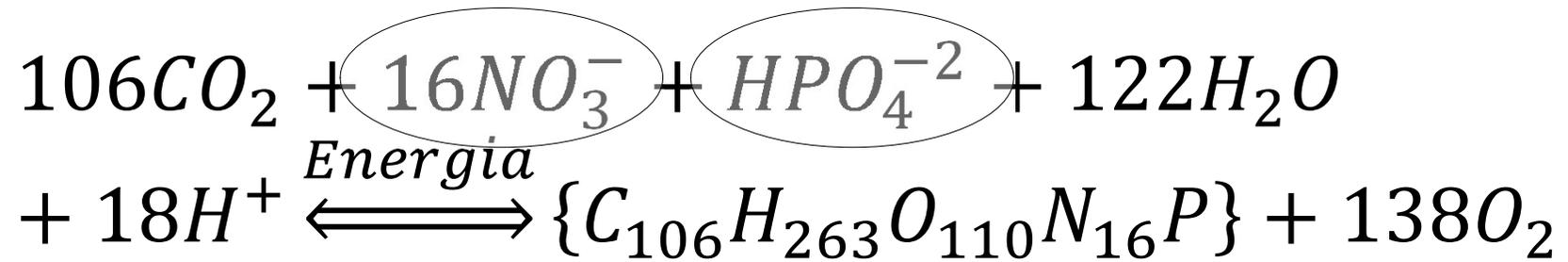
IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

- O enriquecimento de nutrientes (nitrogênio e fósforo) podem causar a eutrofização de corpos d'água) !!





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

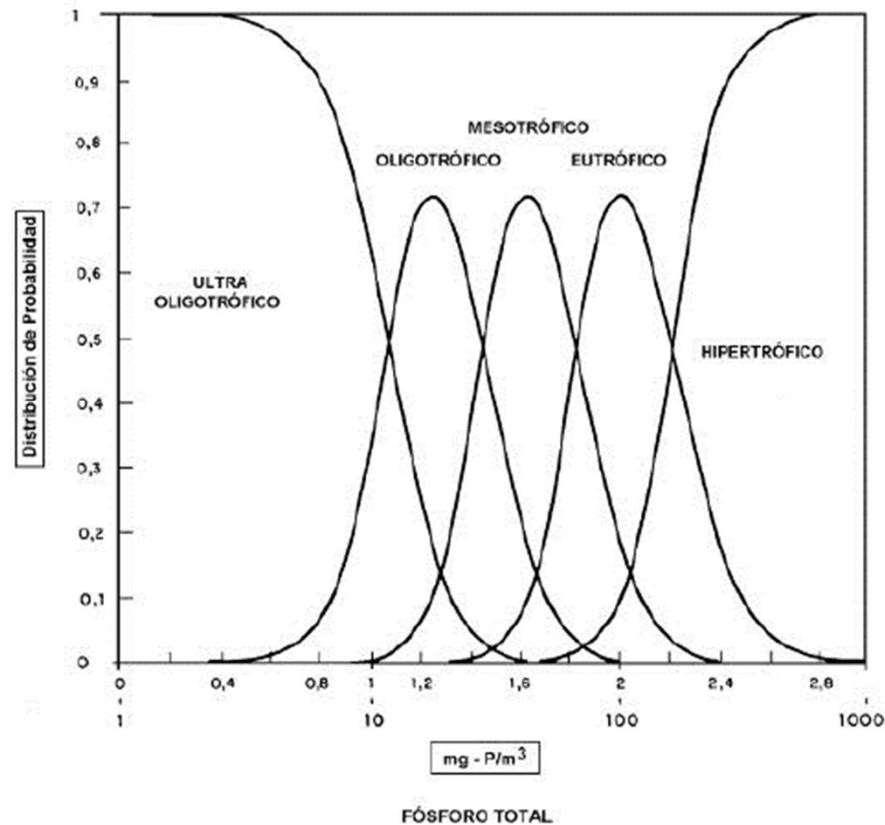
- Padrão de qualidade para corpos d'água Classe 2 (Resolução CONAMA 357 – 17/03/2005)
- Ambientes lênticos: 0,030 mg P/L
- Ambientes intermediários: 0,050 mg P/L
- Ambientes lóticos: 0,1 mg P/L





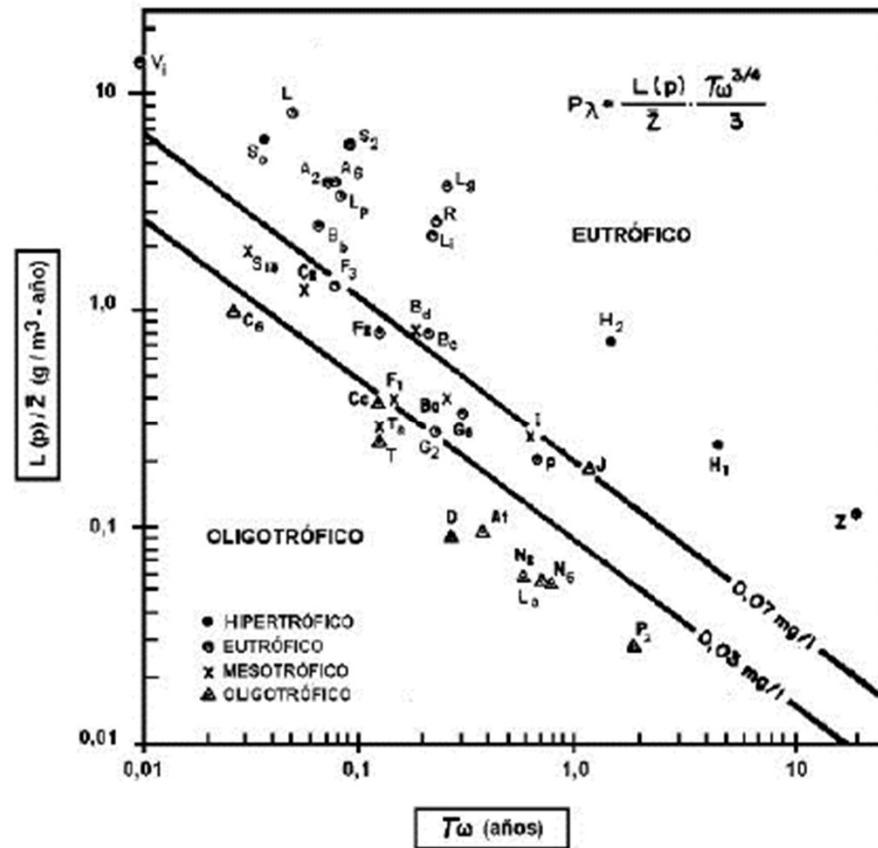
IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

- Oligotrófico: 21,3 mg/m^3
- Mesotrófico: 39,6 mg/m^3
- Eutrófico: 118,7 mg/m^3





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

- Os elementos nitrogênio e fósforo são de grande importância para o controle de processos biológicos de tratamento !!
- Processos aeróbios
- Relação DBO:N:P
- (100:5:1)





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

- Os elementos nitrogênio e fósforo são de grande importância para o controle de processos biológicos de tratamento !!
- Processos anaeróbios
- Relação DQO:N:P
- (350:7:1)





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

- Tecnologias de remoção de fósforo em águas residuárias e efluentes industriais

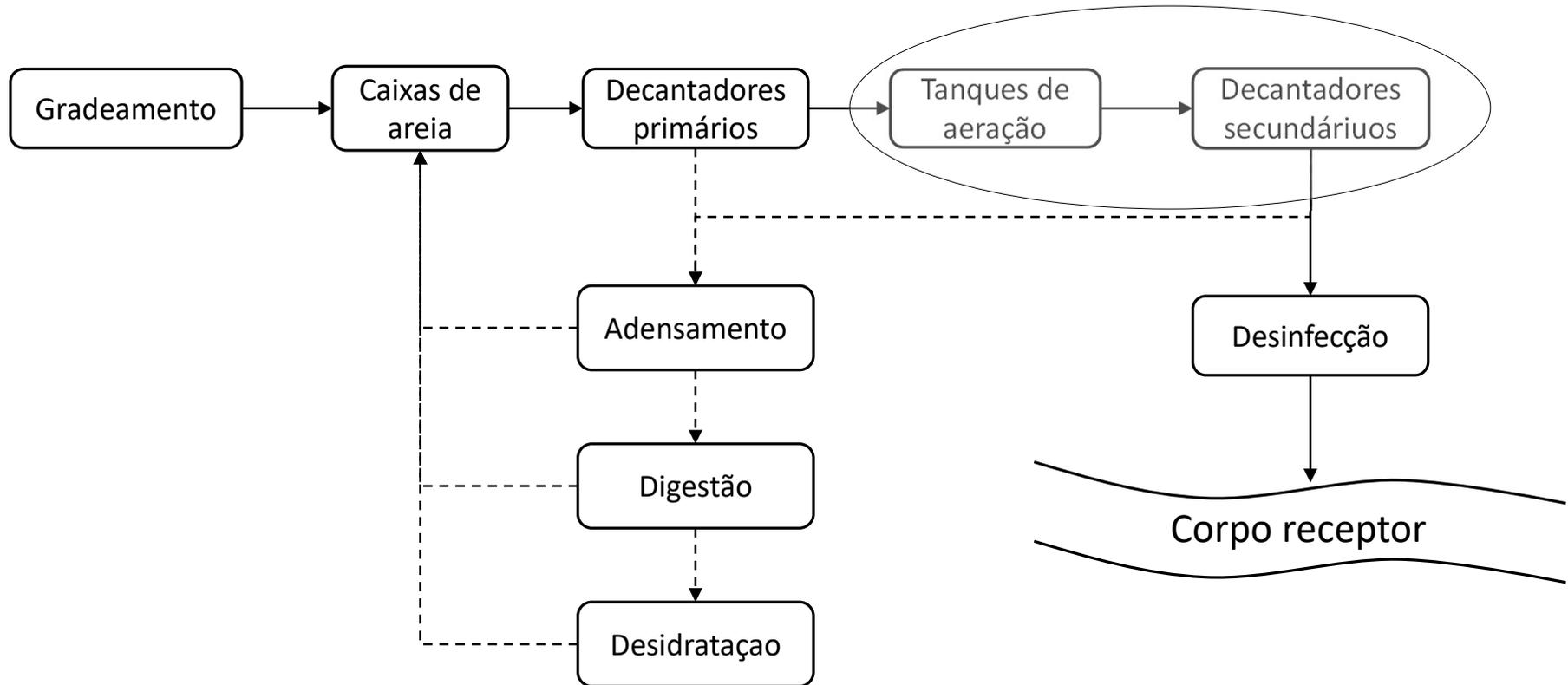
- Processos biológicos de tratamento

- Processos de precipitação química





PROCESSO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS POR LODOS ATIVADOS





IMPORTÂNCIA NA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

- Tecnologias de remoção de fósforo em águas residuárias e efluentes industriais
- Processos biológicos de tratamento
- Processos de precipitação química





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: FÓSFORO

- Determinação de fósforo na fase líquida !!





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: FÓSFORO

- Análise de ortofosfatos por colorimetria !!
- Reação com reagente combinado (solução de ácido ascórbico)
- Curva de calibração
- Determinação da absorvância em 880 nm





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: FÓSFORO





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: FÓSFORO

- Análise de fósforo total por digestão e colorimetria !!
- Digestão da amostra
- Reação com reagente combinado
- Determinação da absorbância em 880 nm





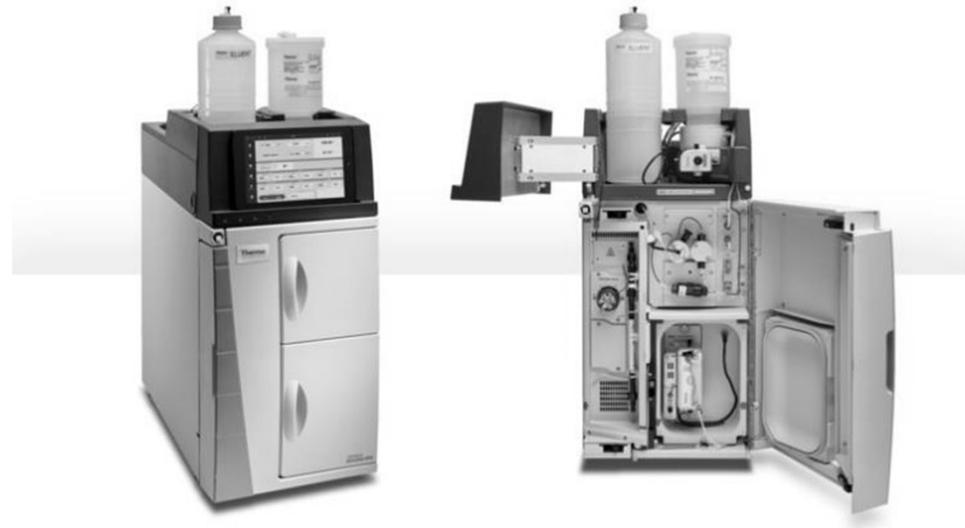
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: FÓSFORO





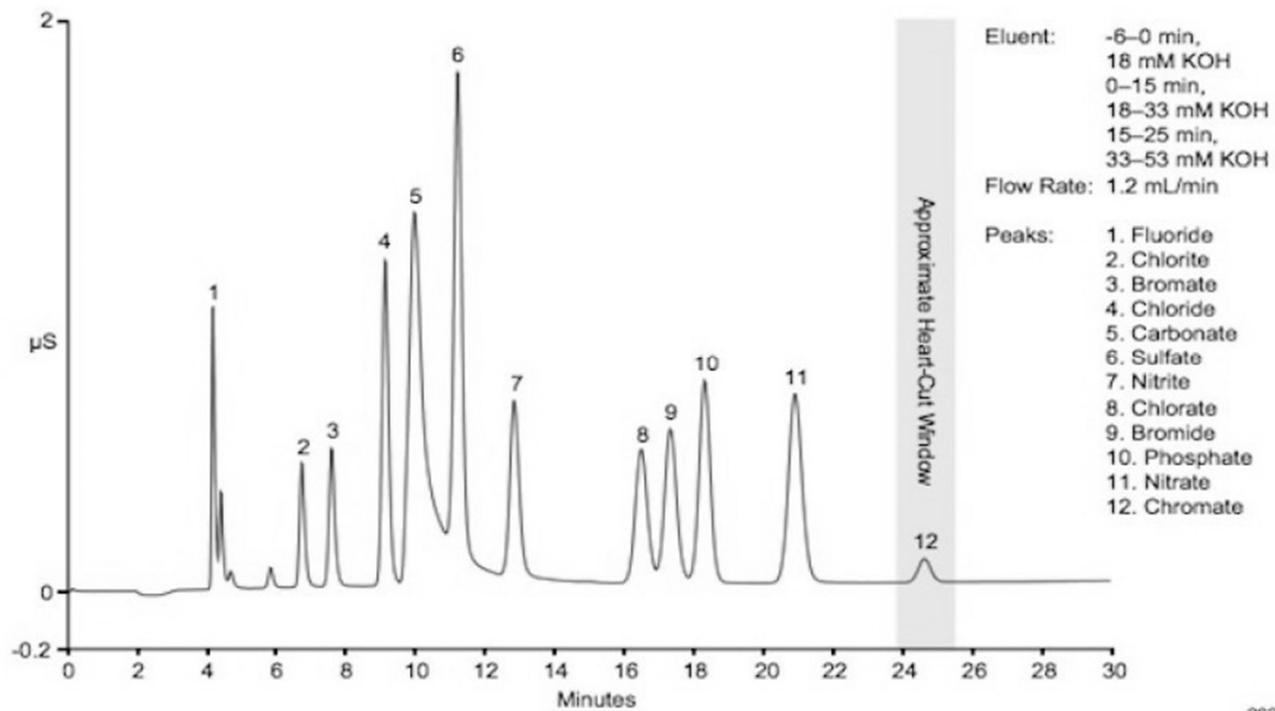
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: FÓSFORO

- Análise de ortofosfato por cromatografia de íons !!
- Calibração do equipamento
- Método mais preciso e atualmente o mais empregado comercialmente !!

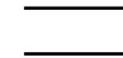




CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA: FÓSFORO



28291





Muito
Obrigado !!!

