Encontro Técnico AESABESP
Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente



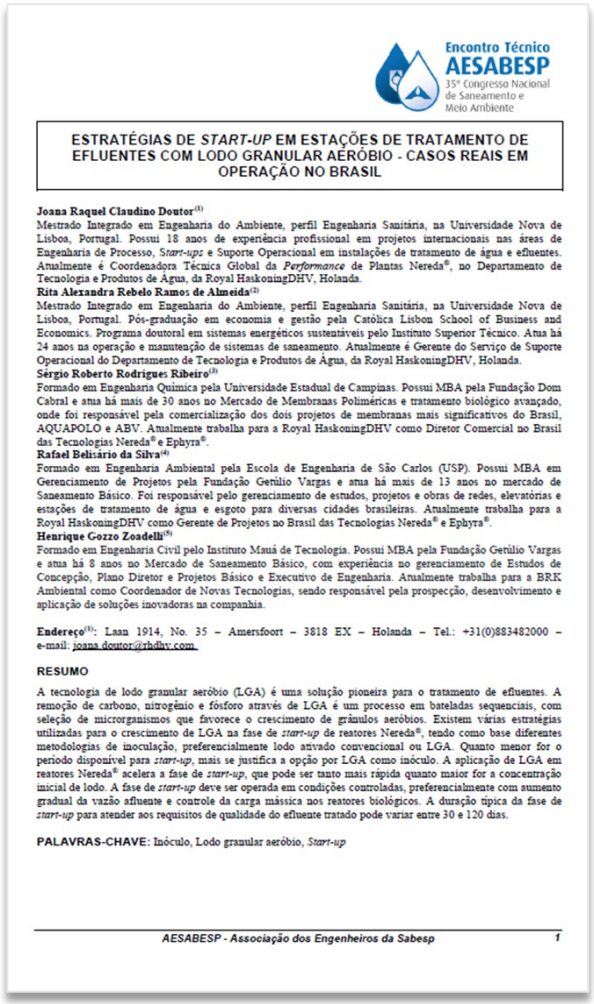
CÓDIGO 35ETC-06640
ESTRATÉGIAS DE START-UP EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES COM LODO GRANULAR AERÓBIO - CASOS REAIS EM OPERAÇÃO NO BRASIL

Joana Doutor
Rita Almeida / Sérgio Ribeiro / Rafael Belisário / Henrique Zoadelli
Royal HaskoningDHV / BRK Ambiental

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

AESABESP
Associação dos Engenheiros da Sabesp

Objectivo do trabalho



Encontro Técnico AESABESP 35° Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

ESTRATÉGIAS DE *START-UP* EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES COM LODO GRANULAR AERÓBIO - CASOS REAIS EM OPERAÇÃO NO BRASIL

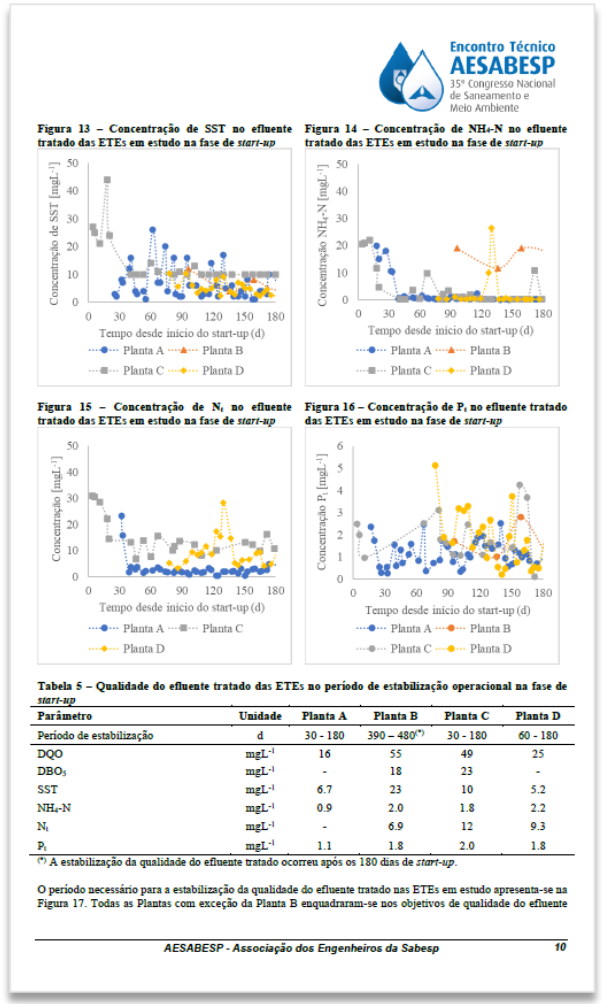
Joana Raquel Claudino Doutor[1]
Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, perfil Engenharia Sanitária, na Universidade Nova de Lisboa, Portugal. Possui 18 anos de experiência profissional em projetos internacionais nas áreas de Engenharia de Processo, *Start-ups* e Suporte Operacional em instalações de tratamento de água e efluentes. Atualmente é Coordenadora Técnica Global da *Performance* de Plantas Nereda®, no Departamento de Tecnologia e Produtos de Água, da Royal HaskoningDHV, Holanda.
Rita Alexandra Rebelo Ramos de Almeida[2]
Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, perfil Engenharia Sanitária, na Universidade Nova de Lisboa, Portugal. Pós-graduação em economia e gestão pela Católica Lisbon School of Business and Economics. Programa doutoral em sistemas energéticos sustentáveis pelo Instituto Superior Técnico. Atua há 24 anos na operação e manutenção de sistemas de saneamento. Atualmente é Gerente do Serviço de Suporte Operacional do Departamento de Tecnologia e Produtos de Água, da Royal HaskoningDHV, Holanda.
Sérgio Roberto Rodrigues Ribeiro[3]
Formado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas. Possui MBA pela Fundação Dom Cabral e atua há mais de 30 anos no Mercado de Membranas Poliméricas e tratamento biológico avançado, onde foi responsável pela comercialização dos dois projetos de membranas mais significativos do Brasil, AQUAPOLO e ABV. Atualmente trabalha para a Royal HaskoningDHV como Diretor Comercial no Brasil das Tecnologias Nereda® e Ephyra®.
Rafael Belisário da Silva[4]
Formado em Engenharia Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP). Possui MBA em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas e atua há mais de 13 anos no mercado de Saneamento Básico. Foi responsável pelo gerenciamento de estudos, projetos e obras de redes, elevatórias e estações de tratamento de água e esgoto para diversas cidades brasileiras. Atualmente trabalha para a Royal HaskoningDHV como Gerente de Projetos no Brasil das Tecnologias Nereda® e Ephyra®.
Henrique Gozzo Zoadelli[5]
Formado em Engenharia Civil pelo Instituto Mauá de Tecnologia. Possui MBA pela Fundação Getúlio Vargas e atua há 8 anos no Mercado de Saneamento Básico, com experiência no gerenciamento de Estudos de Concepção, Plano Diretor e Projetos Básico e Executivo de Engenharia. Atualmente trabalha para a BRK Ambiental como Coordenador de Novas Tecnologias, sendo responsável pela prospecção, desenvolvimento e aplicação de soluções inovadoras na companhia.

Endereço[1]: Laan 1914, No. 35 – Amersfoort – 3818 EX – Holanda – Tel.: +31(0)883482000 – e-mail: joana.doutor@rhdhv.com

RESUMO

A tecnologia de lodo granular aeróbio (LGA) é uma solução pioneira para o tratamento de efluentes. A remoção de carbono, nitrogênio e fósforo através de LGA é um processo em bateladas sequenciais, com seleção de microrganismos que favorece o crescimento de grânulos aeróbios. Existem várias estratégias utilizadas para o crescimento de LGA na fase de *start-up* de reatores Nereda®, tendo como base diferentes metodologias de inoculação, preferencialmente lodo ativado convencional ou LGA. Quanto menor for o período disponível para *start-up*, mais se justifica a opção por LGA como inóculo. A aplicação de LGA em reatores Nereda® acelera a fase de *start-up*, que pode ser tanto mais rápida quanto maior for a concentração inicial de lodo. A fase de *start-up* deve ser operada em condições controladas, preferencialmente com aumento gradual da vazão afluente e controle da carga mássica nos reatores biológicos. A duração típica da fase de *start-up* para atender aos requisitos de qualidade do efluente tratado pode variar entre 30 e 120 dias.

PALAVRAS-CHAVE: Inóculo, Lodo granular aeróbio, *Start-up*



Encontro Técnico AESABESP 35° Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

Figura 13 – Concentração de SST no efluente tratado das ETEs em estudo na fase de *start-up*

Figura 14 – Concentração de NH_4-N no efluente tratado das ETEs em estudo na fase de *start-up*

Figura 15 – Concentração de N_t no efluente tratado das ETEs em estudo na fase de *start-up*

Figura 16 – Concentração de P_t no efluente tratado das ETEs em estudo na fase de *start-up*

Tabela 5 – Qualidade do efluente tratado das ETEs no período de estabilização operacional na fase de *start-up*

Parâmetro	Unidade	Planta A	Planta B	Planta C	Planta D
Período de estabilização	d	30 - 180	390 – 480(*)	30 - 180	60 - 180
DQO	mgL^{-1}	16	55	49	25
DBO_5	mgL^{-1}	-	18	23	-
SST	mgL^{-1}	6.7	23	10	5.2
NH_4-N	mgL^{-1}	0.9	2.0	1.8	2.2
N_t	mgL^{-1}	-	6.9	12	9.3
P_t	mgL^{-1}	1.1	1.8	2.0	1.8

(*) A estabilização da qualidade do efluente tratado ocorreu após os 180 dias de *start-up*.

O período necessário para a estabilização da qualidade do efluente tratado nas ETEs em estudo apresenta-se na Figura 17. Todas as Plantas com exceção da Planta B enquadraram-se nos objetivos de qualidade do efluente

- Comparar estratégias de *start-up* da tecnologia Nereda®
- Aplicadas em 4 plantas operacionais no Brasil
- Avaliar os potenciais impactos em:
  - ✓ Condições operacionais
  - ✓ Desenvolvimento do Lodo Granular Aeróbio (LGA)
  - ✓ Qualidade do efluente tratado
  - ✓ Na duração do *start-up*

Tecnologia Nereda

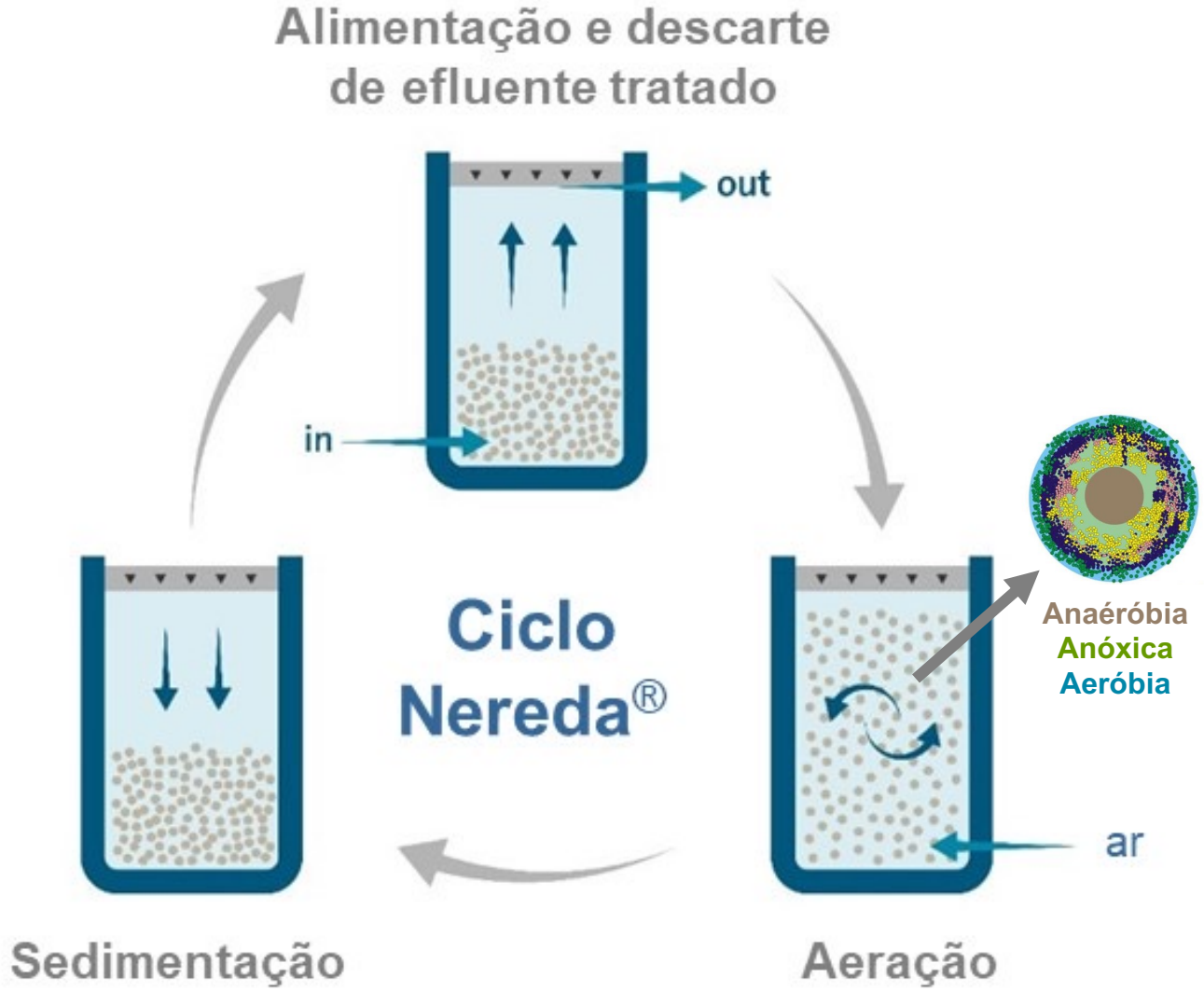
Tecnologia Nereda®



Encontro Técnico AESABESP
Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

- Tratamento biológico aeróbio por batelada sequencial
- Elevada concentração de Lodo Granular Aeróbio (LGA)
- Parceria Delft University of Technology e a Royal HaskoningDHV (Holanda)
- Com 20 anos de operação consolidada em 22 países
- Mais de 115 plantas no mundo, mais de 72 operacionais, 5 em operação no Brasil

Tecnologia Nereda®



Solução pioneira de processo consolidado para ***intensificação*** *de lodo.*

75%
Menos área ocupada

20-50%
Menos energia consumida

80-100%
Menos químicos dosados

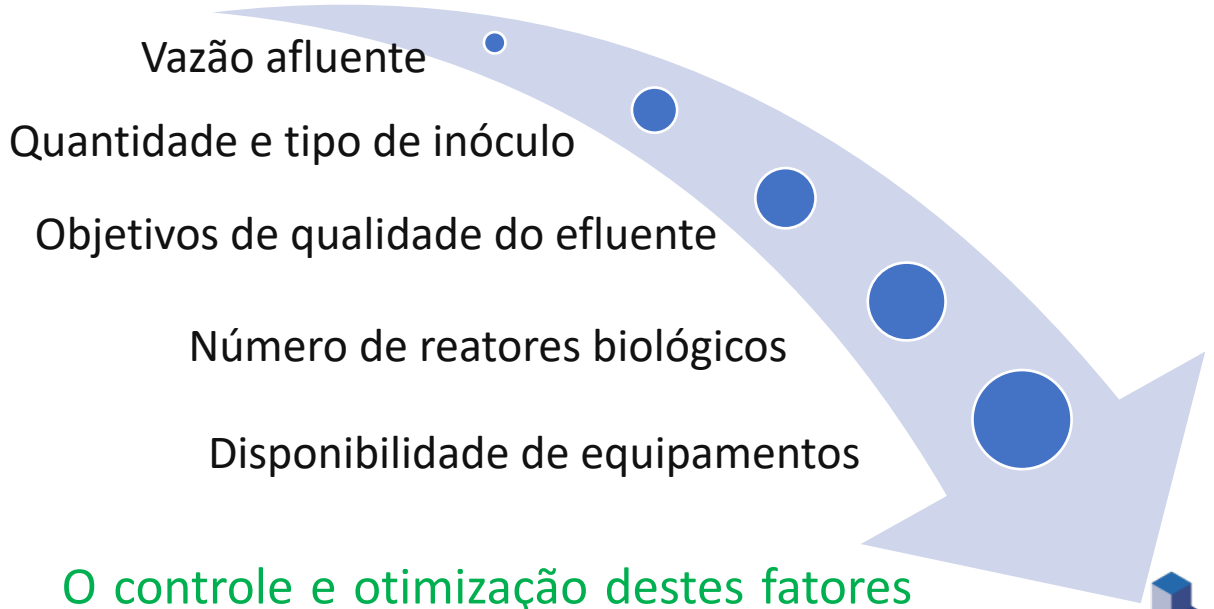
Estratégias de *start-up*

Definição e fatores de *Start-up*

Definição de *Start-up:*

- Período em que a ETE inicia a **operação contínua**
- Inclui **ajustes operacionais** para alcançar estabilidade (eficiência)
- **Tempo** necessário para cumprir as outorgas de descarga de efluente tratado
- **Autoridades ambientais** no Brasil permitem até 180 dias (6 meses) para o *start-up*

Fatores que impactam o *Start-up*:



O controle e otimização destes fatores **reduz** o tempo de *start-up* da planta

Estratégia de *Start-up*

Tempo para *start-up*

Inoculação

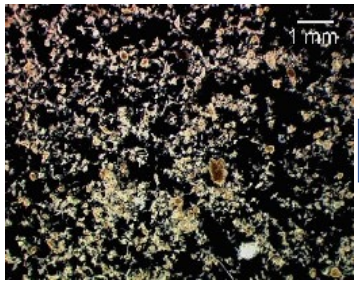
- Lodo ativado
- Lodo granular
- Esgoto bruto
- Combinação de fontes de lodo

Alimentação

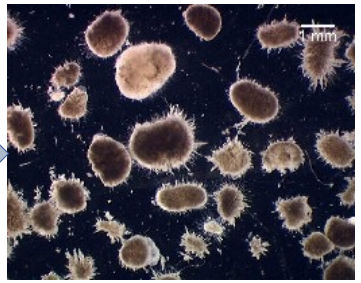
- Aumento gradual



- Crescimento Lodo
- Aumento da capacidade de tratamento
- Cumprimento do normativo de descarga



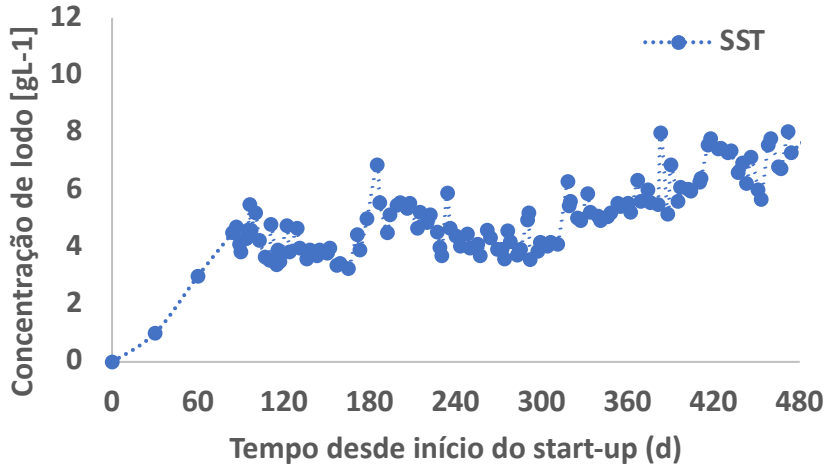
transformação

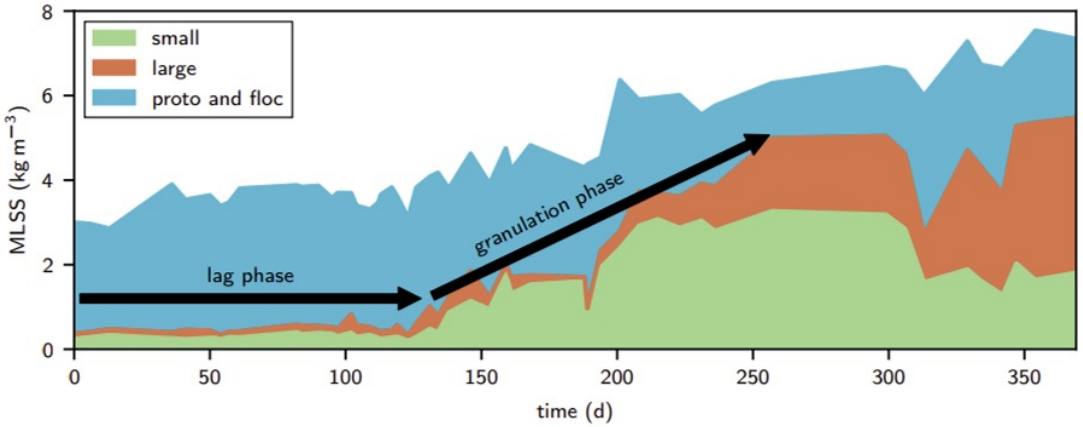


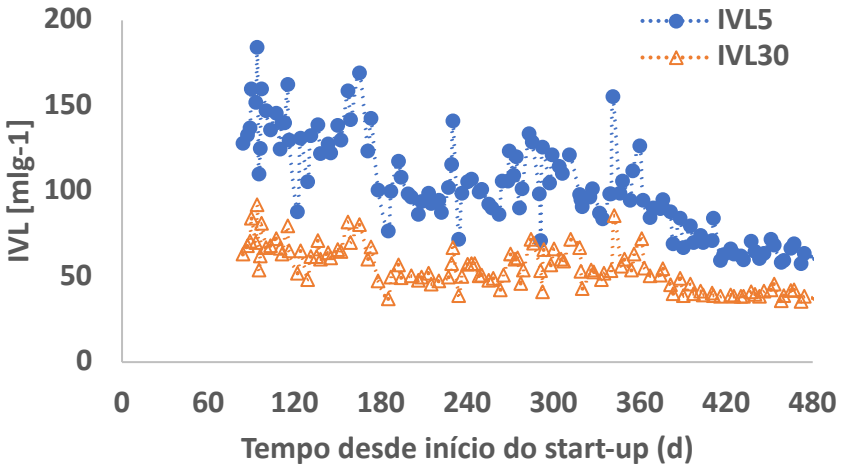
- Diminuição do tempo de sedimentação
- Melhoria da sedimentabilidade

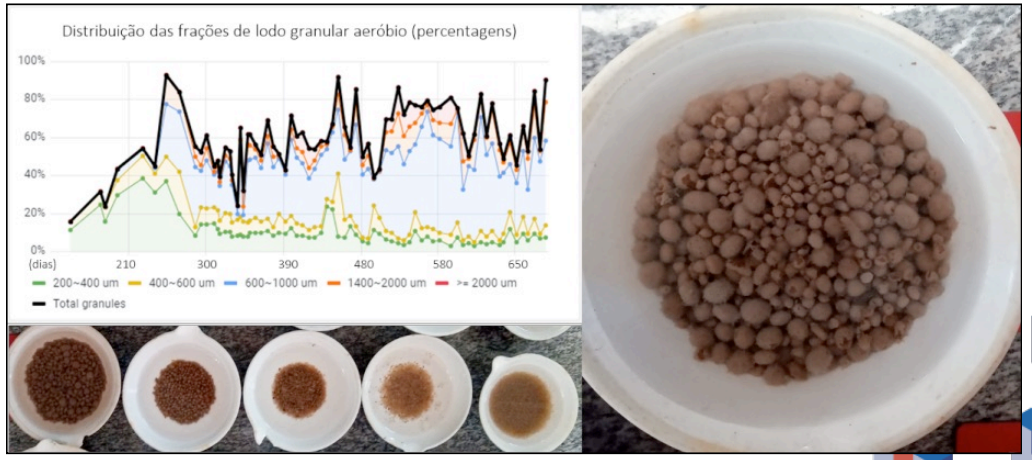
Crescimento do Lodo Granular Aeróbio

Exemplo inóculo esgoto bruto









Apresentação do Caso de Estudo

Plantas em estudo

Configuração e capacidade

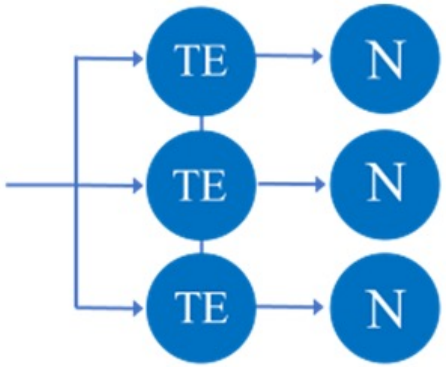


Encontro Técnico AESABESP
Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

Planta A — 750 Ls^{-1}



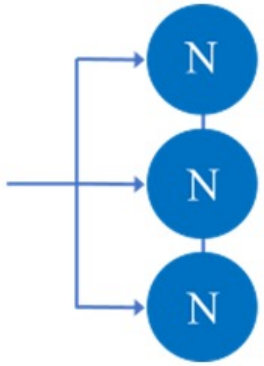
6400 m^3



Planta B — 272 Ls^{-1}



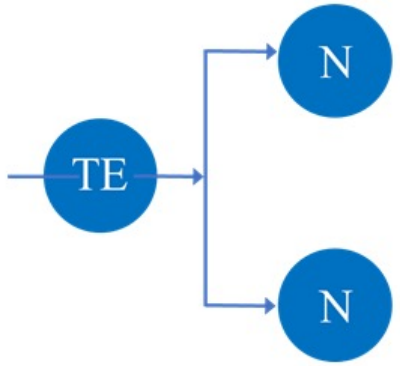
3500 m^3



Planta C — 500 Ls^{-1}



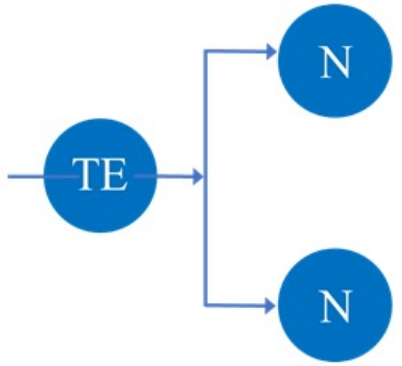
6900 m^3



Planta D — 395 Ls^{-1}



6800 m^3



TE – Tanque de equalização
N - Reator Nereda®

Estratégias de Start-up

Condições de partida das ETEs em estudo

A fase de *start-up* das instalações em estudo teve um período fixo de 180 dias.

ETEs	**Inóculo disponível**	**Vazão afluente prevista** (% da nominal)	**Concentração do Lodo** gL^{-1}	**Objetivos de tratamento** (final do start-up)
Planta A	Lodo ativado convencional	33%	2	Remoção de DBO_5, SST
Planta B	Esgoto bruto	100%	0	Remoção de DBO_5, N_t e P_t
Planta C	Lodo granular aeróbio	40%	1	Remoção de DBO_5, SST e NH_4
Planta D	Lodo UASB e biofilme	28%	1	Remoção de DBO_5, SST, N_t

Resultados e discussão

Controlo operacional das ETEs

Período de *Start-up*

Condições operacionais	**Unidade**	**Planta A** Lodo Convencional		**Planta B** Esgoto Bruto		**Planta C** Lodo Granular Aeróbio		**Planta D** UASB+Lodo Convencional	
		Início	**Fim**	**Início**	**Fim**	**Início**	**Fim**	**Início**	**Fim**
Vazão média afluente	Ls^{-1}	78	179	250	248	90	135	30	109
No. de reatores em operação	-	2	2	3	3	1	1	1	2
Tempo de ciclo	minutos	180	180	180	180	240	180	240	360

Aumento gradual de vazão e carga afluente

Controlo operacional das ETEs

Período de *Start-up*

Condições operacionais	**Unidade**	**Planta A** Lodo Convencional		**Planta B** Esgoto Bruto		**Planta C** Lodo Granular Aeróbio		**Planta D** UASB+Lodo Convencional	
		Início	**Fim**	**Início**	**Fim**	**Início**	**Fim**	**Início**	**Fim**
Vazão média afluente	Ls^{-1}	78	179	250	248	90	135	30	109
No. de reatores em operação	-	2	2	3	3	1	1	1	2
Tempo de ciclo	minutos	180	180	180	180	240	180	240	360
Tempo de sedimentação	minutos	60	25	60	18	60	18	60	50
Concentração de lodo	gL^{-1}	2	9	0	5	1	4	1	7

Aumento gradual de vazão e carga afluente

Redução do tempo de sedimentação / Aumento da pressão de seleção de lodo

Aumento do lodo granular aeróbio

Controlo operacional das ETEs

Período de *Start-up*

Condições operacionais	**Unidade**	**Planta A** Lodo Convencional		**Planta B** Esgoto Bruto		**Planta C** Lodo Granular Aeróbio		**Planta D** UASB+Lodo Convencional	
		Início	**Fim**	**Início**	**Fim**	**Início**	**Fim**	**Início**	**Fim**
Vazão média afluente	Ls^{-1}	78	179	250	248	90	135	30	109
No. de reatores em operação	-	2	2	3	3	1	1	1	2
Tempo de ciclo	minutos	180	180	180	180	240	180	240	360
Tempo de sedimentação	minutos	60	25	60	18	60	18	60	50
Concentração de lodo	gL^{-1}	2	9	0	5	1	4	1	7
Relação A/M (tempo biológico)	$kgDQOkgSST^{-1}$	>0.5	<0.4	>0.5	<0.4	<0.5	<0.4	<0.5	<0.3
Objetivo de tratamento(*)	-	C	C	C	C/N/P	C/N	C/N	C	C/N

Aumento gradual de vazão e carga afluente

Redução do tempo de sedimentação / Aumento da pressão de seleção de lodo

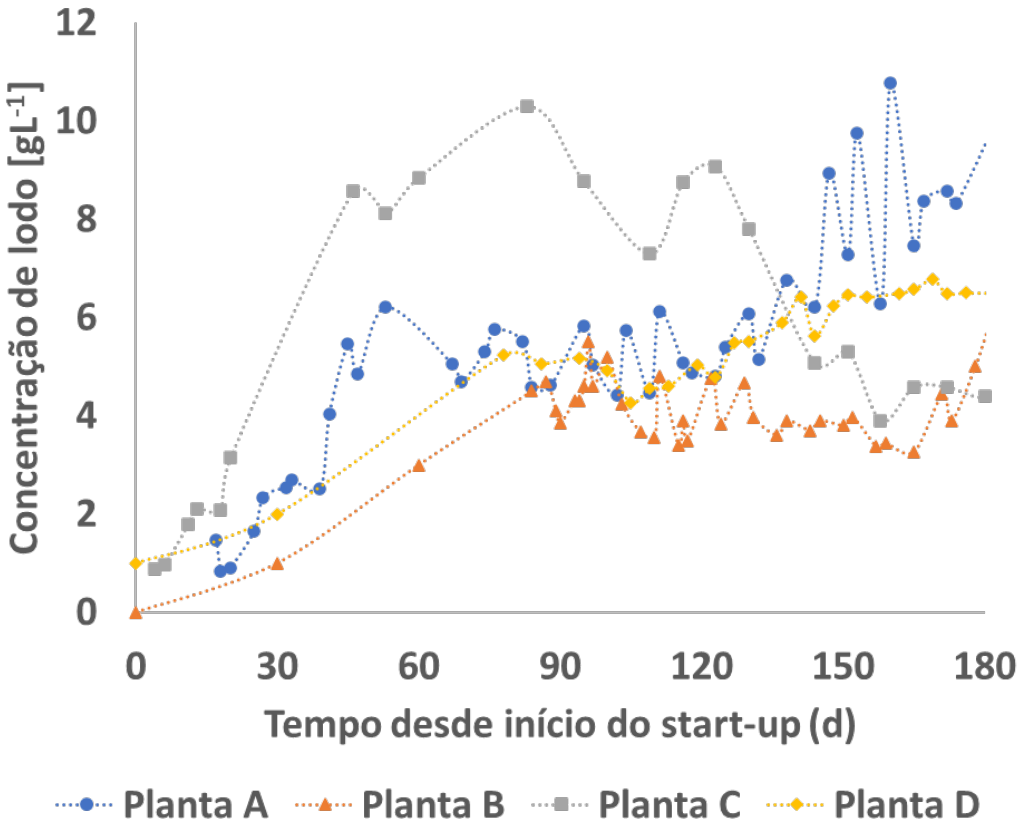
Aumento do lodo granular aeróbio

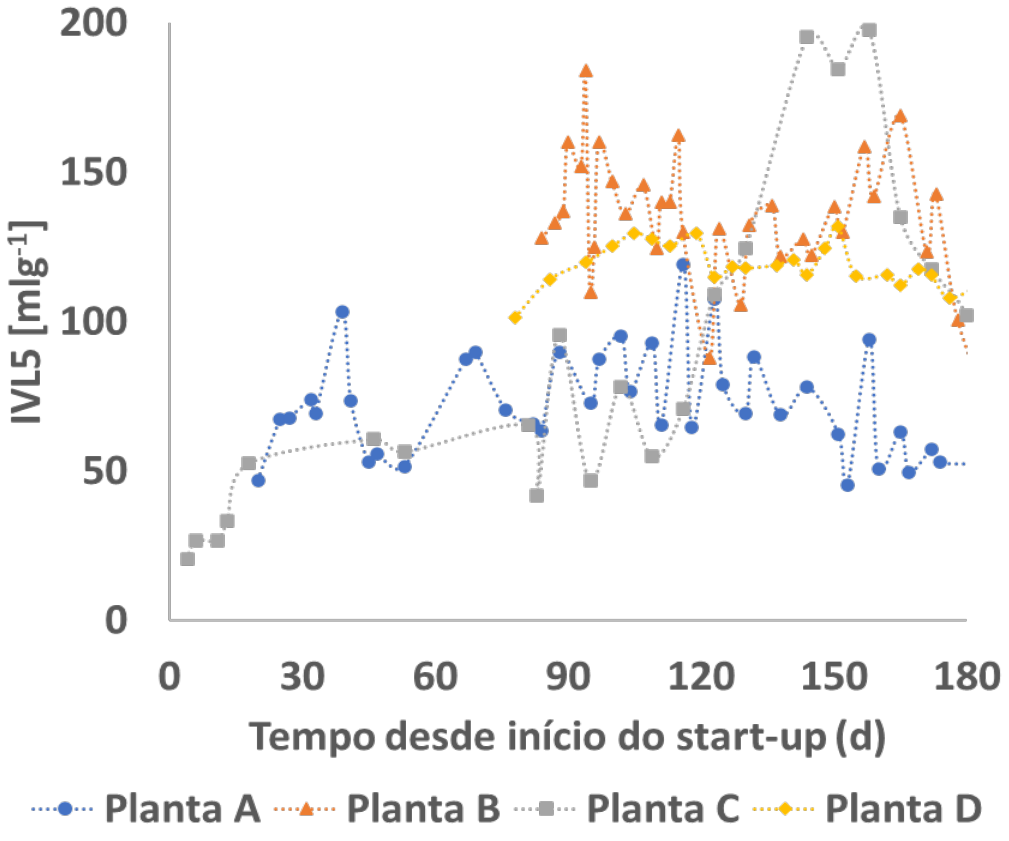
Aumento da eficiência de remoção

(*) Remoção de carbono (C), nitrogénio (N) e fósforo (P)

Efeito do tipo de inóculo

Crescimento de Lodo Granular Aeróbio (LGA)





Planta A - Inóculo lodo ativado
Planta B - Inóculo efluente bruto
Planta C - Inóculo lodo granular aeróbio
Planta D - Inóculo lodo UASB e biofilme

Efeito do tipo de inóculo

Crescimento de Lodo Granular Aeróbio (LGA)

	Tempo desde início do start-up (d)															
Crescimento de lodo granular aeróbio	**30**	**60**	**90**	**120**	**150**	**180**	**210**	**240**	**270**	**300**	**330**	**360**	**390**	**420**	**450**	**480**
Planta A - Inóculo lodo ativado																
Planta B - Inóculo efluente bruto																
Planta C - Inóculo lodo granular aeróbio																
Planta D - Inóculo lodo UASB e biofilme																

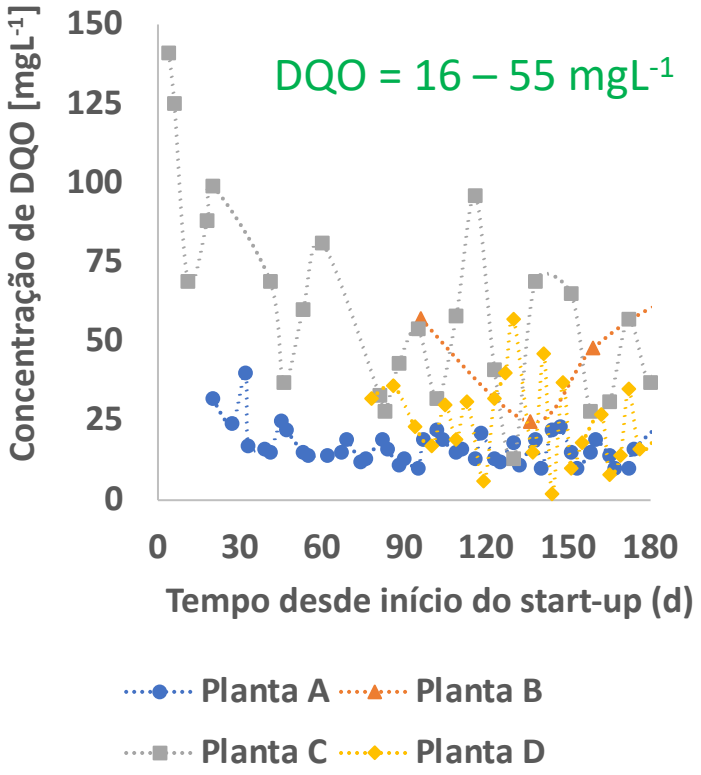
Legenda:

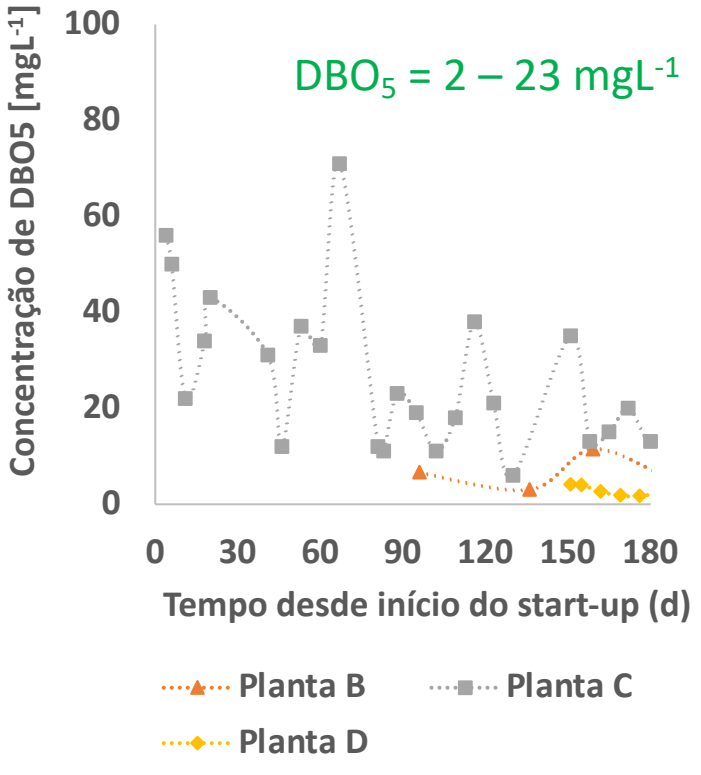
Período de inoculação dos reatores Nereda®	MLSS: 0 → 2 g/l	IVL_5: < 120 mlg^{-1}
Período de crescimento do lodo	MLSS: 2 → 6 g/l	IVL_5: < 75 mlg^{-1}
Fase de maturação do lodo	MLSS: 6 → 8 g/l	IVL_5: < 50 mlg^{-1}

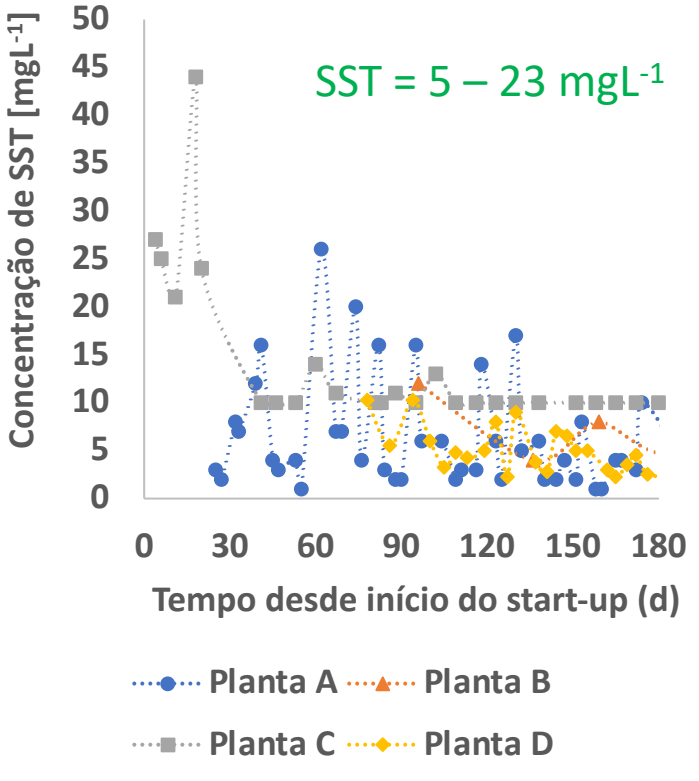


Qualidade do efluente tratado

Período de *Start-up*



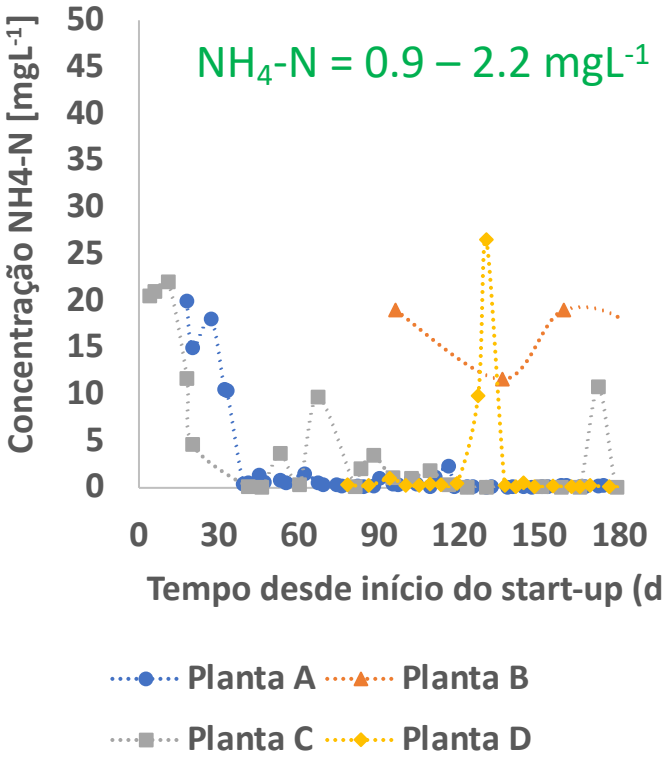


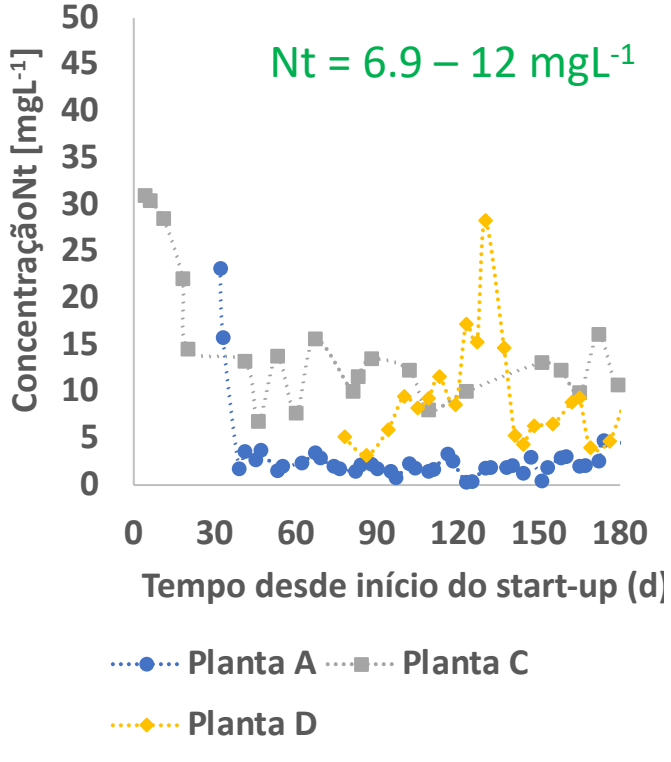


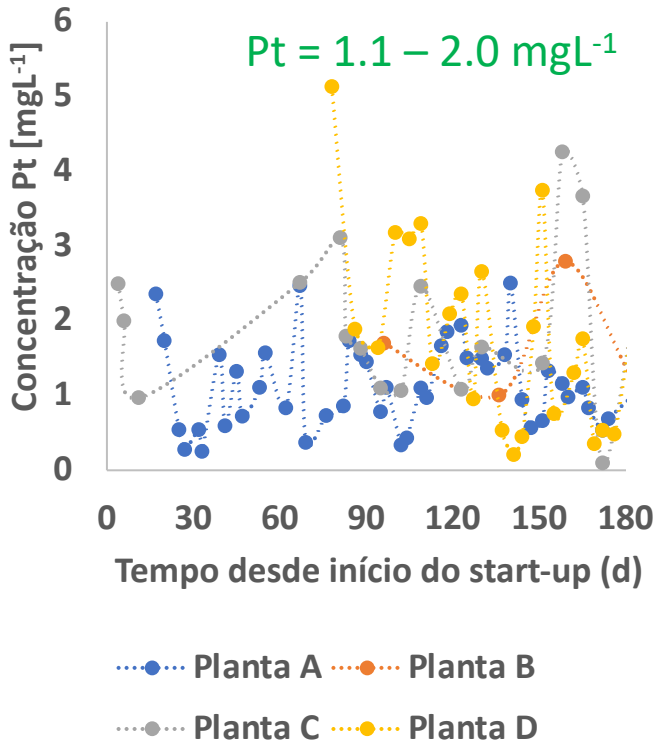
Planta A - Inóculo lodo ativado
Planta B - Inóculo efluente bruto
Planta C - Inóculo lodo granular aeróbio
Planta D - Inóculo lodo UASB e biofilme

Qualidade do efluente tratado

Período de *Start-up*







Planta A - Inóculo lodo ativado
Planta B - Inóculo efluente bruto
Planta C - Inóculo lodo granular aeróbio
Planta D - Inóculo lodo UASB e biofilme

Qualidade do efluente tratado

Período de *Start-up*

	Tempo desde início do start-up (d)															
Qualidade do efluente tratado	**30**	**60**	**90**	**120**	**150**	**180**	**210**	**240**	**270**	**300**	**330**	**360**	**390**	**420**	**450**	**480**
Planta A - Inóculo lodo ativado																
Planta B - Inóculo efluente bruto																
Planta C - Inóculo lodo granular aeróbio																
Planta D - Inóculo lodo UASB e biofilme																

Legenda:

Objetivos de qualidade atingidos

Objetivos de qualidade parcialmente atingidos

Objetivos de qualidade não atingidos

Parâmetro	Unidade	Planta A	Planta B	Planta C	Planta D
Período de estabilização	d	30 - 180	390 – 480(*)	30 - 180	60 - 180
DQO	mgL^{-1}	16	55	49	25
DBO_5	mgL^{-1}	-	18	23	-
SST	mgL^{-1}	6.7	23	10	5.2
NH_4-N	mgL^{-1}	0.9	2.0	1.8	2.2
N_t	mgL^{-1}	-	6.9	12	9.3
P_t	mgL^{-1}	1.1	1.8	2.0	1.8

Período mínimo para *Start-up*

ETEs em estudo

Inóculo	**% vazão nominal tratada em *start-up***	**Objetivos de tratamento**	**Período mínimo até cumprir objetivos de qualidade**	**Potencial duração do *start-up* (*)**
Lodo granular aeróbio (3 gL^{-1})	40%	Remoção de DBO_5, SST e NH_4	30 dias	60 dias
Lodo ativado convencional (2 gL^{-1})	33%	Remoção de DBO_5, SST	30 dias	60 dias
Lodo UASB e biofilme (3 gL^{-1})	28%	Remoção de DBO_5, SST, N_t	90 dias	120 dias
Esgoto bruto	Aprox. 100%	Remoção de DBO_5, N_t e P_t	>365 dias	>365 dias

(*) Incluindo cerca de 30 dias para estabilização da qualidade do efluente.

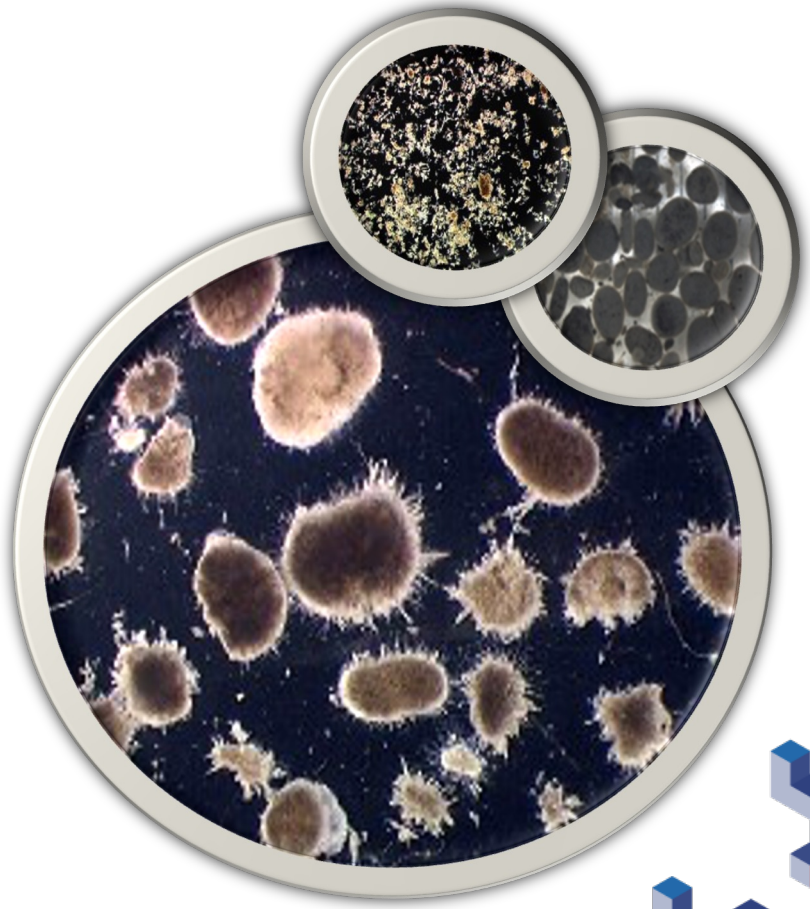
A fase de *start-up* das instalações em estudo teve um período fixo de 180 dias.

Conclusões

Crescimento de Lodo Granular Aeróbio

- Tipos de inóculo possível:
  - Lodo granular aeróbio ➔**Mais favorável**
  - Lodo ativado convencional
  - Lodos de reatores UASB com biofilme em excesso
  - Efluente bruto ➔ Menos favorável

- Processo de seleção de lodo granular aeróbio:
  - Iniciado com inoculação
  - Continuado com fases de crescimento e maturação do lodo
  - Estende-se por toda a vida operacional dos reatores



Start-up de reatores Nereda®

- Estratégia recomendada:
  - Inoculação com lodo granular aeróbio ou lodo ativado convencional (1 a 3 gL^{-1})
  - Aumento gradual da vazão afluente
  - Manutenção da relação A/M para garantir eficiência de tratamento

- Período de start-up:
  - Mínimo de 30 dias
  - Mais típico entre 30 e 120 dias



OBRIGADA PELA SUA ATENÇÃO!

Encontro Técnico AESABESP
Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

Visit our website for more information:
royalhaskoningdhv.com

Contact us:

info@nereda.net

linkedin.com/showcase/nereda-the-natural-way-of-treating-wastewater



Joana Doutor
Head of Nereda Plant Performance
Joana.Doutor@rhdhv.com

© Royal HaskoningDHV 2023. All rights reserved. The content in this document is copyright protected by Royal HaskoningDHV. It is provided to you for information and internal discussion purposes within your company. Any circulation of this content within your company should include this copyright notice and reference to Royal HaskoningDHV's copyright. Any proposed wider use, republication or redistribution of any content, will require prior written approval from Royal HaskoningDHV. We are obviously more than pleased to discuss the application of our Enhancing society together approach with you further.