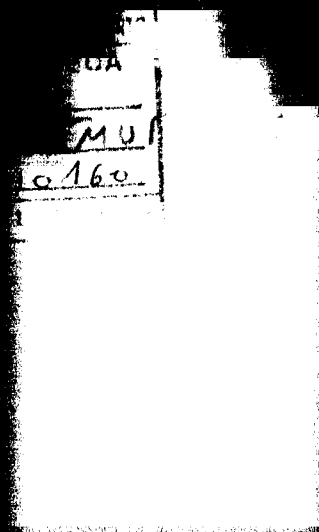


# **Faculdade de Ciências da Universidade do Porto**

## **Análise exploratória e modelação de indicadores de desempenho de uma ETAR com tratamento biológico**





**Biblioteca**  
Faculdade de Ciências  
Universidade do Porto

**FC**



0000120013

Relatório em conformidade  
com o que foi decidido  
pelo júri

*Juni*  
*H. H. H.*

## Agradecimentos

Agradeço toda a ajuda prestada, apoio e disponibilidade às seguintes pessoas:

- Professor Nuno Formigo (orientador - FCUP)
- Professora Maria Teresa Borges (co-orientadora - FCUP)
- Professora Maria Eduarda Santos (co-orientadora - FCUP)
- Rui Silva

## Sumário

Na avaliação da qualidade das águas residuais brutas e tratadas recorre-se a uma grande variedade de técnicas analíticas, físicas, químicas e biológicas, cujo número e complexidade têm vindo a aumentar ao longo das últimas décadas.

Numa Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) as águas residuais passam por vários processos de tratamento (tratamento primário, secundário e terciário) com o objectivo de separar a matéria poluente da água.

Esta tese teve como objectivo efectuar a análise estatística de diversos indicadores do funcionamento de uma ETAR doméstica (ETAR de Valongo, Campo e Sobrado), previamente estudada de modo a poder desenvolver um modelo matemático que permitisse fazer, de modo expedito, a monitorização do seu funcionamento.

Vários factores parecem influenciar a eficiência do tratamento da ETAR, nomeadamente o baixo THR, que não permite um contacto suficiente entre o esgoto e a comunidade microbiana que procederá à sua degradação; o baixo teor de Oxigénio Dissolvido, uma vez que todos os processos de degradação que permitem elevadas eficiências de remoção de azoto são oxidações; e a elevada Recirculação de Lamas Secundárias, que cria instabilidade na comunidade microbiana existente, não permitindo que mesma atinja níveis óptimos de densidade e composição específica.

Através da análise dos dados efectuada, conclui-se que certas variáveis físico-químicas ( $\text{CBO}_5$ , CQO, NT, SST, PT e  $\text{N-NH}_4$  à entrada do tanque biológico e  $\text{CBO}_5$ , CQO, NT, SST, PT à saída), biológicas (Ciliados Móveis de Fundo, Ciliados Sésseis, Ciliados Nadadores e Flagelados) e operacionais (IBL, THR, OD, SST (Tanque) e Recirculação de Lamas Secundárias) demonstraram ser mais relevantes para caracterizar o funcionamento da ETAR.

De uma forma geral, os resultados obtidos pelos diferentes métodos utilizados (Análise de Componentes Principais, Análise de Cluster e Correlação de Pearson) são coincidentes, reforçando a plausibilidade da interpretação que foi feita ao longo desta dissertação.

O modelo matemático mais simples que permitiu descrever o processo de tratamento da ETAR foi um modelo de Regressão Linear Múltipla recorrendo ao método Stepwise. Com este método foi possível obter equações matemáticas para todas as Eficiências de Remoção em estudo, com a excepção da Eficiência de Remoção de  $\text{N-NH}_4$ , para a qual era necessário um maior tempo de amostragem para se poder chegar a conclusões mais precisas.

Em suma, a carga orgânica existente na ETAR é um indicador fulcral na monitorização da qualidade do tratamento da ETAR, quer em termos da proporção que é biologicamente degradável, quer em termos a respectiva riqueza em azoto.

## Abstract

In the evaluation of the quality of residual untreated and treated wastewaters physicals, chemicalstries and biological analytical techniques are used, whose number and complexity have been coming to increasing the last decades.

In a Wastewater Treatment Plant (WWTP) the untreated wastewater undergoes several treatment processes (primary, secondary and tertiary treatment) with the aim of separating pollutant matter from the water.

The present work aimed at comparing the adequacy of different multivariate statistical procedures to select the best combination of operational indicators to develop a mathematical model of the wastewater treatment process of a domestic WWTP (Valongo, Campo e Sobrado WWTP's), using previously obtained climatic, physico-chemical and biological data, in order to obtain an easy to use monitoring system of the WWTP performance.

Several factors seemed to influence the efficiency of the WWTP, namely: the low HRT, that which does not allow a long enough contact time between the wastewater and the microbial community that will accomplish its treatment; the low observed Dissolved Oxygen, an important factor considering that all of the degradation processes, including nitrogen removal, are oxidations; and the high Return Secondary Sludge Flowrate which created instability in the existent microbial community, preventing its development to optimum density levels and specific composition.

Through the analysis of the available data it was concluded that certain physico-chemical variables ( $BOD_5$ , COD, TN, TSS, TP and  $NH_4^+$ -N in the influent of the biological tank; and  $BOD_5$ , COD, TN, TSS, TP to the tank effluent), ); biological variables (Crawlers Ciliates, Attached Ciliates, Free-swimming Ciliates and Flagellates) and operational variables (SBI, HRT, DO, TSS (Tank) and Return Secondary Sludge Flowrate) were the more relevant factors to characterize the operation of the studied WWTP.

In general, the results obtained by the different statistical methods used (Principal Component Analysis, Cluster Analysis and Correlation of Pearson Correlation) were coincident, reinforcing the plausibility of the interpretation that was done along this dissertation.

The simplest mathematical model that enabled the description of the treatment process in the WWTP was a Multiple Lineal Linear Regression model, using Stepwise predictor selection. With this method it was possible to obtain mathematical equations describing all of the Removal Efficiencies under study, with the exception of the Ammonium Removal Efficiency, for which a longer sampling time seemed necessary to achieve more precise conclusions.

As a final conclusion it can be said that, the existent organic load in WWTP is a critical indicator in the monitoring of the WWTP treatment quality in terms of the fraction that is biodegradable, or in terms of its nitrogen content.

# Índice

## Índice

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1. Enquadramento/Estado da Arte</b>                                            | 11 |
| 1.1. Objectivos                                                                   | 13 |
| 1.2. Organização do relatório                                                     | 13 |
| <b>2. Metodologia aplicada</b>                                                    | 14 |
| <b>3. Resultados e Discussão</b>                                                  | 18 |
| 3.1. Parâmetros Físico-Químicos                                                   | 20 |
| 3.1.1. Parâmetros Físico-Químicos à entrada (F.Q.in)                              | 20 |
| 3.1.2. Parâmetros Físico-Químicos à saída (F.Q.out)                               | 22 |
| 3.2. Parâmetros Biológicos                                                        | 24 |
| 3.3. Eficiências de remoção                                                       | 26 |
| 3.4. Parâmetros Operacionais                                                      | 28 |
| 3.5. Parâmetros Físico-químicos entrada/Parâmetros Biológicos                     | 30 |
| 3.6. Parâmetros Físico-químicos saída/Parâmetros Biológicos                       | 31 |
| 3.7. Parâmetros Operacionais/Parâmetros Biológicos                                | 31 |
| 3.8. Parâmetros Biológicos/Eficiências de remoção                                 | 32 |
| 3.9. Parâmetros Operacionais/Parâmetros físico-químicos à entrada                 | 33 |
| 3.10. Parâmetros Operacionais/Parâmetros físico-químicos à saída                  | 34 |
| 3.11. Parâmetros Operacionais/Eficiência de remoção                               | 35 |
| 3.12. Parâmetros Climáticos                                                       | 35 |
| 3.13. Modelação                                                                   | 36 |
| <b>4. Conclusões finais</b>                                                       | 38 |
| Anexo 1 – Parâmetros Físico-Químicos à entrada do tanque                          | 42 |
| Anexo 2 – Parâmetros Físico-Químicos à saída do tanque                            | 44 |
| Anexo 3 – Parâmetros biológicos                                                   | 50 |
| Anexo 4 – Eficiências de remoção                                                  | 51 |
| Anexo 5 – Parâmetros operacionais                                                 | 54 |
| Anexo 6 – Parâmetros Biológicos vs Parâmetros Físico-químicos à entrada do tanque | 55 |

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anexo 7 - Parâmetros Biológicos vs Parâmetros Físico-químicos à saída do tanque .....      | 57 |
| Anexo 8 – Parâmetros Biológicos vs Parâmetros Operacionais .....                           | 59 |
| Anexo 9 – Parâmetros Biológicos vs Eficiências de Remoção .....                            | 61 |
| Anexo 10 – Parâmetros Físico-químicos à entrada do tanque vs Parâmetros Operacionais ..... | 62 |
| Anexo 11 - Parâmetros Físico-químicos à saída do tanque vs Parâmetros Operacionais .....   | 64 |
| Anexo 12 - Parâmetros Operacionais vs Eficiências de Remoção .....                         | 66 |
| Anexo 13 – Modelo de Regressão Linear Múltipla .....                                       | 68 |

## Índice de Figuras

|                                                                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Esquema representativo do sistema de Lamas Activadas (A: recolha de amostras à entrada dos tanques; B: recolha de amostras nos tanques; C: recolha de amostras à saída dos tanques).....                        | 14 |
| Figura 2 - Representação gráfica dos resultados da análise de ACP para os parâmetros físico-químicos à entrada do tanque.....                                                                                              | 20 |
| Figura 3 – Representação gráfica dos resultados da análise Cluster de todos parâmetros físico-químicos à entrada do tanque.....                                                                                            | 20 |
| Figura 4 - Representação gráfica dos resultados da análise de ACP para os parâmetros físico-químicos à entrada do tanque (apenas os melhores resultados).....                                                              | 21 |
| Figura 5 – Representação gráfica dos resultados da análise Cluster aos parâmetros físico-químicos à entrada do tanque (sem Temperatura, Alcalinidade, pH, Nitritos e Nitratos) .....                                       | 21 |
| Figura 6 - Representação gráfica dos resultados da análise de ACP para os parâmetros físico-químicos à saída do tanque .....                                                                                               | 22 |
| Figura 7 - Representação gráfica dos resultados da análise Cluster de todos parâmetros físico-químicos à saída do tanque .....                                                                                             | 22 |
| Figura 8 - Representação gráfica dos resultados da análise de ACP para os parâmetros físico-químicos à entrada do tanque (apenas os melhores resultados).....                                                              | 23 |
| Figura 9- Representação gráfica dos resultados da análise Cluster aos parâmetros físico-químicos à saída do tanque (sem a Temperatura, pH, Nitritos, Nitratos, Azoto Amoniacal e Alcalinidade).....                        | 23 |
| Figura 10- Representação gráfica dos resultados da análise de ACP para a densidade dos microrganismos encontrados.....                                                                                                     | 24 |
| Figura 11- Representação gráfica dos resultados da análise Cluster aos parâmetros biológicos do tanque.....                                                                                                                | 24 |
| Figura 12- Representação gráfica dos resultados da análise de ACP para a densidade dos microrganismos encontrados (sem Metazoários e <i>Vorticellas</i> ).....                                                             | 25 |
| Figura 13- Representação gráfica dos resultados da análise Cluster aos parâmetros biológicos do tanque (sem <i>Vorticella microstoma</i> , <i>Vorticella campânula</i> e <i>Vorticella convallaria</i> e Metazoários)..... | 25 |
| Figura 14 - Representação gráfica dos resultados da análise de ACP às eficiências de remoção do tratamento .....                                                                                                           | 26 |
| Figura 15- Representação gráfica dos resultados da análise Cluster às eficiências de remoção do tratamento .....                                                                                                           | 26 |
| Figura 16 - Representação gráfica dos resultados da análise de ACP às eficiências de remoção do tratamento (sem NO <sub>3</sub> , Alcalinidade e NT) .....                                                                 | 27 |
| Figura 17- Representação gráfica dos resultados da análise Cluster às eficiências de remoção do tratamento (sem NO <sub>3</sub> , Alcalinidade e NT) .....                                                                 | 27 |
| Figura 18 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais do tanque ....                                                                                                                 | 28 |
| Figura 19- Representação gráfica dos resultados da análise Cluster aos parâmetros operacionais do tanque                                                                                                                   | 28 |

|                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 20 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais do tanque (sem efluente regularizado, Idade das Lamas, Índice de Mollman e razão F/M) .....                               | 29 |
| Figura 21- Representação gráfica dos resultados da análise Cluster aos parâmetros operacionais do tanque (sem efluente regularizado, Idade das Lamas, Índice de Mollman e razão F/M).....                             | 29 |
| Figura 22 - Representação gráfica dos resultados da análise de ACP aos parâmetros físico-químicos à entrada e parâmetros biológicos do tanque (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores) .....  | 30 |
| Figura 23 - Representação gráfica dos resultados da análise Cluster aos parâmetros físico-químicos à entrada e parâmetros biológicos do tanque (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores) ..... | 30 |
| Figura 24 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à saída e parâmetros biológicos do tanque (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores).....        | 31 |
| Figura 25 - Representação gráfica dos resultados da análise Cluster aos parâmetros físico-químicos à saída e parâmetros biológicos do tanque (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores).....    | 31 |
| Figura 26 - Representação gráfica dos resultados da análise de ACP aos parâmetros operacionais e parâmetros biológicos do tanque (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores).....                | 32 |
| Figura 27 - Representação gráfica dos resultados da análise Cluster aos parâmetros operacionais e parâmetros biológicos do tanque (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores).....               | 32 |
| Figura 28 - Representação gráfica dos resultados da análise de ACP aos parâmetros biológicos e eficiências de remoção (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores).....                           | 33 |
| Figura 29 - Representação gráfica dos resultados da análise Cluster aos parâmetros biológicos e eficiências de remoção (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores).....                          | 33 |
| Figura 30 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e parâmetros físico-químicos à entrada (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores).....              | 33 |
| Figura 31 - Representação gráfica dos resultados da análise Cluster aos parâmetros operacionais e parâmetros físico-químicos à entrada (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores) .....         | 33 |
| Figura 32 - Representação gráfica dos resultados da análise de ACP aos parâmetros operacionais e parâmetros físico-químicos à saída (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores) .....            | 34 |
| Figura 33 - Representação gráfica dos resultados da análise Cluster aos parâmetros operacionais e parâmetros físico-químicos à saída (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores) .....           | 34 |
| Figura 34 - Representação gráfica dos resultados da análise de ACP aos parâmetros operacionais e eficiências de remoção (apenas os melhores resultados obtidos nas análises anteriores).....                          | 35 |
| Figura 35 - Representação gráfica dos resultados da análise Cluster aos parâmetros operacionais e eficiências de remoção (apenas os melhores resultados obtidos nas análises anteriores).....                         | 35 |

## Índice de Tabelas

|                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Métodos utilizados para a determinação dos parâmetros físico-químicos.....                                                                                                          | 15 |
| Tabela 2 – Parâmetros operacionais estudados.....                                                                                                                                              | 15 |
| Tabela 3 – Parâmetros biológicos e sua interpretação biológica .....                                                                                                                           | 15 |
| Tabela 4 – Parâmetros climáticos.....                                                                                                                                                          | 16 |
| Tabela 5 – Caracterização estatística dos parâmetros Físico-químicos.....                                                                                                                      | 18 |
| Tabela 6 - Caracterização estatística dos parâmetros Biológicos, Operacionais e Climáticos .....                                                                                               | 19 |
| Tabela 7 - Resultados da análise de ACP aos parâmetros físico-químicos à entrada do tanque .....                                                                                               | 20 |
| Tabela 8 - Resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à entrada do tanque (sem Temperatura, Alcalinidade, pH, Nitritos e Nitratos).....                                          | 21 |
| Tabela 9 - Resultados da análise de ACP aos parâmetros físico-químicos à saída do tanque.....                                                                                                  | 22 |
| Tabela 10 - Resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à saída do tanque (sem a Temperatura, pH, Nitritos, Nitratos, Azoto Amoniacal e Alcalinidade).....                        | 23 |
| Tabela 11 - Resultados da análise ACP aos parâmetros biológicos do tanque .....                                                                                                                | 24 |
| Tabela 12 - Resultados da análise ACP aos parâmetros biológicos do tanque (sem <i>Vorticella microstoma</i> , <i>Vorticella campânula</i> e <i>Vorticella convallaria</i> e Metazoários) ..... | 25 |
| Tabela 13 - Resultados da análise ACP às eficiências de remoção do tratamento .....                                                                                                            | 26 |
| Tabela 14 - Resultados da análise ACP às eficiências de remoção do tratamento (sem NO <sub>3</sub> , Alcalinidade e NT) .....                                                                  | 27 |
| Tabela 15 - Resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais do tanque .....                                                                                                              | 28 |
| Tabela 16 - Resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais do tanque (sem efluente regularizado, Idade das Lamas, Índice de Mollman e razão F/M) .....                                  | 29 |
| Tabela 17 - Resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à entrada e parâmetros biológicos tanque (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores).....            | 30 |
| Tabela 18 - Resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à saída e parâmetros biológicos tanque (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores) .....             | 31 |
| Tabela 19 - Resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e parâmetros biológicos (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores) .....                               | 31 |
| Tabela 20 - Resultados da análise ACP aos parâmetros biológicos e eficiências de remoção (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores) .....                                | 32 |
| Tabela 21 - Resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e parâmetros físico-químicos à entrada (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores) .....                | 33 |
| Tabela 22 - Resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e parâmetros físico-químicos à saída (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores) .....                  | 34 |
| Tabela 23 - Resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e eficiências de remoção .....                                                                                               | 35 |
| Tabela 24 – Resultados obtidos através do Modelo de Regressão Linear Múltipla .....                                                                                                            | 36 |

## Abreviaturas

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

SST – Sólidos Suspensos Totais

CQO – Carência Química de Oxigênio

CBO<sub>5</sub> – Carência Bioquímica de Oxigênio

NT – Azoto Total

N-NO<sub>2</sub> – Azoto em forma de Nitrito

N-NO<sub>3</sub> – Azoto em forma de Nitrato

N-NH<sub>4</sub> – Azoto Amoniacal

PT – Fósforo Total

OD – Oxigênio Dissolvido

IM – Índice de Mollman

IL – Idade das Lamas

THR – Tempo Hidráulico de Retenção

IBL – Índice Biótico de Lamas

CMF – Ciliados Móveis de Fundo

CS – Ciliados Sésseis

CN – Ciliados Nadadores

ACP – Análise de Componentes Principais

## 1. Enquadramento/Estado da Arte

Na avaliação da qualidade das águas residuais brutas e tratadas recorre-se a uma grande variedade de técnicas analíticas, físicas, químicas e biológicas, cujo número e complexidade têm vindo a aumentar ao longo das últimas décadas.

O desempenho e eficiência do tratamento de uma ETAR podem ser avaliados com a ajuda de indicadores físico-químicos, biológicos e operacionais, tais como, CBO<sub>5</sub>, CQO, pH, comunidades de microorganismos existentes no tanque biológico, eficiências de remoção, entre outros <sup>[7]</sup>.

Numa ETAR as águas residuais passam por vários processos de tratamento com o objectivo de eliminar a matéria poluente da água. No primeiro conjunto de tratamentos, designado por pré-tratamento, a água residual é sujeita a processos de separação dos sólidos mais grosseiros através da gradagem, desarenamento e tamização. Nesta fase, por vezes, o efluente é sujeito a um pré-arejamento e a uma equalização tanto de caudais como de cargas poluentes.

A primeira fase de tratamento é designada por tratamento primário, onde a matéria poluente é separada da água por sedimentação/decantação nos decantadores primários. Este processo é exclusivamente de acção física podendo, em alguns casos, ser ajudado pela adição de agentes químicos que através de uma floculação possibilitam a obtenção de flocos de matéria poluente de maiores dimensões e assim mais facilmente decantáveis.

Após o tratamento primário, a matéria poluente que permanece no efluente tem dimensões muito reduzidas, não sendo por isso passível de ser removida por processos exclusivamente físico-químicos.

Seguem-se, pois, os processos de tratamento biológicos, também designados por tratamento secundário, onde a matéria poluente é degradada por microorganismos nos chamados reactores biológicos. O tratamento biológico de efluentes faz-se por utilização de processos anaeróbios ou de processos aeróbios, isolada ou concomitantemente. O efluente saído do reactor biológico é constituído por uma grande quantidade de microorganismos, sendo muito reduzida a matéria poluente remanescente. Os microorganismos sofrem seguidamente um processo de sedimentação nos designados decantadores secundários.

Findo o tratamento secundário, as águas residuais tratadas apresentam um reduzido nível de poluição, podendo na maioria dos casos, serem admitidas no meio ambiente receptor.

É, porém, necessário proceder à desinfecção das águas residuais tratadas ou à remoção de determinados nutrientes, o azoto e o fósforo, que podem potenciar, isoladamente ou em conjunto, a eutrofização das águas receptoras. Nesta fase do tratamento utilizam-se vários processos de desinfecção tais como radiação ultra-violeta, ozono, cloro e electrocoagulação <sup>[13]</sup>.

Descrevendo mais em detalhe o tratamento biológico de águas residuais, este pode efectuar-se por vários processos, entre os quais o de Lamas Activadas, utilizado como tratamento secundário para a remoção de matéria orgânica carbonada <sup>[13]</sup>.

Os sistemas de Lamas Activadas são constituídos por um reactor arejado – Tanque de Arejamento – e por um ou mais decantadores. No Tanque de Arejamento procede-se ao contacto da biomassa (Lamas Activadas) com a matéria a degradar e ao fornecimento de oxigénio, essencial aos microorganismos aeróbios

responsáveis pela degradação dessa matéria. Assim, a população de microrganismos, através do seu metabolismo, transforma essa matéria orgânica em nova biomassa microbiana, dióxido de carbono, água e minerais <sup>[13]</sup>.

O microbiota presente num sistema de Lamas Activadas é composta essencialmente por bactérias, protozoários e metazoários. A estrutura da comunidade de protozoários é um valioso instrumento de diagnóstico e avaliação do desempenho de uma ETAR <sup>[3,8,17]</sup>.

Os Protozoários Ciliados apresentam uma grande sensibilidade aos fenómenos físico-químicos e operacionais, o que faz com que sejam bons indicadores do estado de funcionamento de uma ETAR <sup>[18]</sup>. Os sistemas estáveis são caracterizados por uma diversidade específica elevada, apresentando certas espécies de Ciliados, uma densidade considerável. Uma diminuição da diversidade e da abundância de espécies significa uma menor eficiência do tratamento biológico da estação <sup>[7]</sup>. Assim, é importante estabelecer relações entre a estrutura da comunidade de Ciliados e os parâmetros físico-químicos e operacionais da ETAR, de forma a encontrar indicadores que reflectam a eficiência do tratamento. No entanto, o facto de estes indicadores apresentarem uma forte variabilidade temporal, faz com que seja difícil a sua interpretação imediata, tornando-se necessário realizar uma análise exploratória dos dados para proceder à sua validação.

O recurso a modelos estatísticos que descrevam a evolução das características físico-químicas, biológicas e operacionais do efluente, pode constituir uma ferramenta de gestão muito eficaz. Uma vez que existem vários indicadores que apresentam múltiplas relações entre si, diversos autores utilizam técnicas de análise multivariada (Análise de Componentes Principais, Análise de Clusters, Correlação de Pearson, etc.) para tentar definir grupos relativamente homogêneos de variáveis. Isto permite, por um lado, diminuir o número de variáveis que serão utilizadas como indicadores do funcionamento do sistema e, por outro lado, perceber a forma como se relacionam entre si (directa ou inversamente, com maior ou menor intensidade, etc.). A vantagem adicional deste tipo de abordagem é conseguir um sistema de monitorização com a melhor relação custo-benefício-rapidez <sup>[1,3,4,8,9,11,19]</sup>.

Deste modo, a existência de um modelo estatístico que, a partir de um conjunto reduzido de dados brutos, consiga produzir indicadores fiáveis de gestão, é uma mais valia para garantir o bom funcionamento quotidiano de ETAR. Esta abordagem tem sido pouco explorada em termos matemáticos, existindo na literatura escassos trabalhos sobre esta temática <sup>[9,19]</sup>.

## 1.1. Objectivos

Este trabalho teve como objectivo geral efectuar a análise matemática de diversos indicadores do funcionamento da ETAR de Valongo, Campo e Sobrado, de modo a avaliar as possibilidades de desenvolver um modelo matemático que permitisse fazer, de modo expedito, a monitorização do funcionamento de uma Estação de Tratamento de Águas Residuais.

Como objectivos específicos, pretendia-se:

- Definir quais as variáveis a analisar
- Quais os métodos de análise de dados que melhor caracterizam o funcionamento do sistema
- Definir o modelo de avaliação a utilizar na monitorização do sistema

## 1.2. Organização do relatório

Esta dissertação está organizada em 4 capítulos, dos quais o primeiro é constituído pela presente parte introdutória.

No capítulo 2 descrevem-se com pormenor as metodologias utilizadas neste estudo.

No capítulo 3 são apresentados os resultados obtidos no desenvolvimento de uma proposta de indicadores aplicáveis.

O capítulo 4 é o capítulo final, onde são apresentadas as principais conclusões deste trabalho.

## 2. Metodologia aplicada

A Estação de Tratamento de Águas Residuais de Valongo, Campo e Sobrado foi projectada para tratar os efluentes da zona nascente do Concelho de Valongo, abrangendo as freguesias de Valongo, Campo e Sobrado, do concelho de Valongo, algumas indústrias já existentes na sua área de influência e uma futura zona industrial, prevista no Plano Director Municipal, para além das freguesias de Rebordosa, Lordelo e Gandra, do concelho de Paredes.

O tratamento da fase líquida compreende às seguintes fases:

- Tratamento preliminar: Gradagem; Desarenamento;
- Tratamento primário: Decantação primária; Regularização de caudais (Equalização e mistura);
- Tratamento secundário: Tratamento biológico por Lamas Activadas; Clarificação do efluente.

O sistema de Lamas Activadas existente na ETAR tem a particularidade de ser constituído por três tanques independentes que funcionam em paralelo.

O tratamento da fase sólida (lamas) compreende as seguintes operações:

- Espessamento gravítico das lamas primárias;
- Flotação das lamas secundárias (biológicas);
- Mistura das lamas primárias e secundárias;
- Desidratação mecânica;
- Estabilização química das lamas desidratadas com cal.

A Figura 1 representa a estrutura do sistema de Lamas Activado da ETAR.

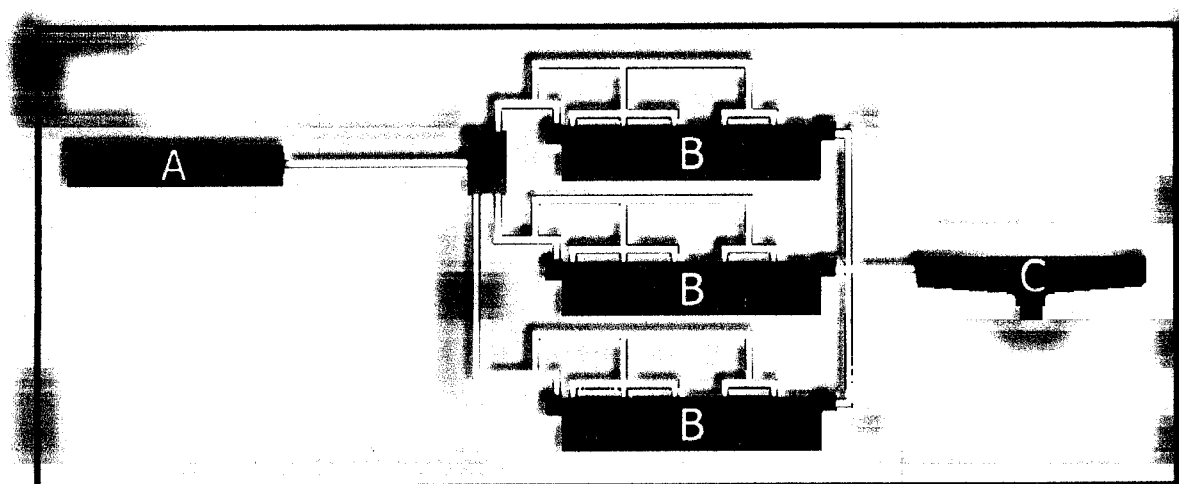


Figura 1 – Esquema representativo do sistema de Lamas Activadas (A: recolha de amostras à entrada dos tanques; B: recolha de amostras nos tanques; C: recolha de amostras à saída dos tanques)

Onze parâmetros físico-químicos foram analisados semanalmente à entrada e saída do conjunto dos três tanques biológicos (Lamas Activadas) da ETAR de acordo com métodos padronizados (Tabela 1), durante um período de quatro meses<sup>[18]</sup>.

Tabela 1 - Métodos utilizados para a determinação dos parâmetros físico-químicos

| Parâmetro                              | Método                                                             |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| pH                                     | Método Potenciométrico                                             |
| SST (mg/L)                             | Filtração através de membrana filtrante de 45 µm e secagem a 105°C |
| CQO (mg/L)                             | Método de Espectrofotometria de absorção molecular                 |
| CBO <sub>5</sub> (mg/L)                | Método Respirométrico                                              |
| V30 (mL)                               | Método Gravimétrico                                                |
| NT (mg/L)                              | Método de Espectrofotometria de absorção molecular                 |
| N-NO <sub>2</sub> (mg/L)               | Método de Espectrofotometria de absorção molecular                 |
| N-NO <sub>3</sub> (mg/L)               | Método de Espectrofotometria de absorção molecular                 |
| N-NH <sub>4</sub> (mg/L)               | Método de Espectrofotometria de absorção molecular                 |
| PT (mg/L)                              | Método de Espectrofotometria de absorção molecular                 |
| Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> ) | Titulação Ácida                                                    |

Os valores dos parâmetros operacionais foram obtidos a partir dos registos de um sistema computadorizado de aquisição de dados existente na ETAR, sendo alguns deles calculados posteriormente (Tabela 2) <sup>[13, 18]</sup>.

Tabela 2 – Parâmetros operacionais estudados

| Parâmetros operacionais                                       |
|---------------------------------------------------------------|
| Oxigénio dissolvido no Tanque – OD (mg/L)                     |
| SST no Tanque (mg/L)                                          |
| Índice de Mollman – IM (mg)                                   |
| Idade das Lamas – IL (d)                                      |
| Relação F/M (Kg/Kg)                                           |
| Tempo Hidráulico de Retenção – THR (h)                        |
| Caudal do efluente regularizado (m <sup>3</sup> )             |
| Caudal de recirculação de Lamas Secundárias (m <sup>3</sup> ) |
| Índice Biótico de Lamas – IBL                                 |

É possível estabelecer relações entre o desempenho de uma estação de tratamento de águas residuais e a presença e abundância de uma determinada espécie de Protozoário. O estudo dos microrganismos existentes é uma ferramenta útil para detectar precocemente situações anormais de operação no funcionamento do tanque biológico da ETAR. A microfauna existente no tanque biológico (Tabela 3) foi identificada e enumerada através de observação microscópica <sup>[10]</sup>.

Tabela 3 – Parâmetros biológicos e sua interpretação biológica (Adaptado de <sup>[18]</sup>)

| Parâmetros biológicos    | Interpretação biológica                                                                       |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ciliados Móveis de Fundo | Devido ao facto de ocuparem nichos ecológicos diferentes dos outros grupos, não havendo assim |

|                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                      | competição, a coexistência é sempre possível apesar da relação entre as suas abundâncias variar com a carga orgânica do efluente.                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Ciliados Sésseis</b>              | Encontram-se associados aos flocos, uma vez que estão presos a estes por um pedúnculo. Quando este grupo é dominante leva a diferentes situações dependendo da espécie ou espécies presentes                                                                                                                                                                       |
| <b><i>Vorticella microstoma</i></b>  | Presentes em águas intersticiais (entre os flocos) carregadas de bactérias livres devido a cargas elevadas. O nível de tratamento da instalação é moderado                                                                                                                                                                                                         |
| <b><i>Vorticella convallaria</i></b> | A presença deste microrganismo não está relacionada directamente ligada à carga do efluente. Estas espécies são relativamente frágeis à presença de tóxicos e à falta de oxigénio. Pode-se observá-las em instalações onde o oxigénio é alto e constante. São indicadores de uma boa eficácia de depuração.                                                        |
| <b><i>Vorticella campanula</i></b>   | Típico de efluentes de boa qualidade.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Ciliados Nadadores</b>            | Predominam no Tanque de Arejamento na fase inicial de tratamento. Nadam livres no licor misto. São dominantes quando a idade das lamas é pequena ou quando se verifica valores de oxigénio baixos e, como tal, são indicadores de uma qualidade má do efluente.                                                                                                    |
| <b>Metazoários</b>                   | Estão relacionados com uma idade das lamas elevada, podendo por vezes serem indicadores de um CBO5 baixo à saída com bom rendimento.                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Flagelados</b>                    | A presença destes microrganismos geralmente está associada a três factores muito importantes: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lamas jovens (com pequenos flocos) e tempos de residência curtos;</li> <li>2. Aumento repentino da carga a altura em que há uma boa floculação;</li> <li>3. Baixa concentração de oxigénio nas Lamas Activadas.</li> </ol> |

Os parâmetros climáticos foram fornecidos pelo Instituto de Meteorologia (Tabela 4).

Tabela 4 – Parâmetros climáticos

| Parâmetros climáticos       |
|-----------------------------|
| Temperatura (°C)            |
| Humidade relativa do ar (%) |
| Precipitação (mm)           |

#### • Validação dos dados

Na análise multivariada de dados, as variáveis (parâmetros em estudo) podem ser quantitativas ou qualitativas; estar agrupadas em classes, sendo usadas as respectivas frequências; ou até mesmo podem aparecer como uma mistura de todos estes tipos de informação.

As variáveis utilizadas neste trabalho foram caracterizadas recorrendo a métodos de estatística descritiva: média, variância, desvio padrão, intervalo de variação, coeficiente de assimetria.

Através da análise dos resultados anteriores, procedeu-se à selecção das variáveis a utilizar nas análises multivariadas, tendo sido excluídas as que se apresentaram demasiado assimétricas ou demasiado uniformes.

Os dados físico-químicos, operacionais e climáticos não sofreram qualquer transformação.

Os dados biológicos sofreram uma transformação logarítmica  $y = \log(x+1)$  de modo a normalizá-los e a homogeneizar as respectivas variâncias <sup>[12]</sup>.

### • **Análise da estrutura dos dados**

Utilizaram-se várias técnicas de análise multivariada: Análise de Clusters, Análise de Componentes Principais e correlação de Pearson.

Foi calculada a correlação de Pearson para todos os pares de variáveis, o que permitiu avaliar quais os que os que apresentavam uma correlação estatisticamente significativa.

A Análise de Componentes Principais (ACP) permitiu o estudo e interpretação da estrutura da matriz de variância-covariância dos dados em análise. A análise das representações gráficas dos resultados obtidos permitiu identificar grupos homogêneos de variáveis e levantar hipóteses sobre as respectivas relações <sup>[12, 15]</sup>.

A análise de grupos, ou de Clusters, permitiu definir grupos relativamente homogêneos de variáveis com base num conjunto de características comuns <sup>[9,12]</sup>. Neste tipo de análise, os agrupamentos de variáveis foram feitos a partir de uma medida de dissemelhança (coeficiente de Pearson) <sup>[12]</sup>.

A comparação dos resultados obtidos com a aplicação das diferentes metodologias permitiu fundamentar várias hipóteses de trabalho relativamente à forma como as diferentes variáveis se relacionam entre si e descrevem os processos em curso nos tanques em análise.

### • **Modelação**

O objectivo é obter um modelo matemático que permita otimizar o tratamento da ETAR a partir de um conjunto de indicadores.

A metodologia “Response surface” (RSM) é um conjunto de técnicas matemáticas e estatísticas que são utilizadas para modelar e analisar problemas cuja resposta é influenciada por várias variáveis e tem como objectivo otimizar o problema <sup>[14]</sup>.

Neste caso, como na maioria dos problemas RSM, a relação entre a resposta e as variáveis independentes é desconhecida. O modelo mais simples que se pode considerar é um modelo linear ao qual se vão juntando termos não lineares se necessário <sup>[12,14]</sup>.

A análise descrita no ponto anterior permitiu seleccionar quais as variáveis a incluir no modelo.

### 3. Resultados e Discussão

As Tabelas 5 e 6 apresentam as características dos parâmetros em estudo <sup>[18]</sup>.

Tabela 5 – Caracterização estatística dos parâmetros Físico-químicos (in – entrada para os tanques biológicos; out – saída dos três tanques biológicos; E – eficiência)

| Parâmetros              | Média   | Variância  | Desvio padrão | Assimetria | Coefficiente de assimetria |
|-------------------------|---------|------------|---------------|------------|----------------------------|
| Temp. In                | 15,61   | 9,90       | 3,15          | 9,20       | 0,64                       |
| pH In                   | 7,27    | 0,05       | 0,22          | 0,97       | 1,81                       |
| CBO <sub>5</sub> In     | 198,13  | 2336,25    | 48,33         | 180,00     | 0,26                       |
| CQO In                  | 345,44  | 11916,40   | 109,16        | 424,00     | 0,04                       |
| SST In                  | 130,38  | 542,52     | 23,29         | 88,00      | -0,78                      |
| N-NO <sub>2</sub> in    | 0,04    | 0,00       | 0,01          | 0,05       | -0,05                      |
| NT In                   | 42,06   | 131,65     | 11,47         | 45,05      | -1,44                      |
| N-NH <sub>4</sub> in    | 41,53   | 37,03      | 6,08          | 23,30      | -0,69                      |
| N-NO <sub>3</sub> in    | 0,93    | 0,13       | 0,36          | 1,20       | -0,41                      |
| PT In                   | 16,42   | 37,67      | 6,14          | 24,81      | 0,41                       |
| Alcalinidade In         | 212,09  | 1905,75    | 43,65         | 146,15     | -0,14                      |
| Temp.Out                | 15,71   | 11,90      | 3,45          | 9,60       | 0,57                       |
| pH out                  | 7,26    | 0,09       | 0,29          | 1,27       | 0,47                       |
| CBO <sub>5</sub> out    | 21,63   | 259,32     | 16,10         | 66,00      | 2,85                       |
| CQO out                 | 56,96   | 376,69     | 19,41         | 64,90      | -0,20                      |
| SST out                 | 23,88   | 145,05     | 12,04         | 46,00      | 0,29                       |
| N-NO <sub>2</sub> out   | 0,35    | 0,54       | 0,73          | 3,03       | 3,78                       |
| NT out                  | 34,19   | 90,10      | 9,49          | 39,00      | -0,72                      |
| N-NH <sub>4</sub> out   | 40,64   | 93,91      | 9,69          | 39,50      | -0,62                      |
| N-NO <sub>3</sub> out   | 3,21    | 1,82       | 1,35          | 5,60       | 0,59                       |
| PT out                  | 6,49    | 22,07      | 4,70          | 18,20      | 1,21                       |
| Alcalinidade out        | 198,97  | 1155,12    | 33,99         | 126,00     | -0,21                      |
| NT (E,%)                | 16,34   | 312,40     | 17,67         | 58,79      | -0,77                      |
| N-NH <sub>4</sub> (E,%) | 2,32    | 308,50     | 17,56         | 75,73      | 1,58                       |
| N-NO <sub>2</sub> (E,%) | -992,77 | 4373630,38 | 2091,32       | 8373,69    | -3,27                      |
| N-NO <sub>3</sub> (E,%) | -380,61 | 266222,70  | 515,97        | 2106,67    | -2,72                      |
| Alcalinidade (E,%)      | 3,73    | 414,81     | 20,37         | 76,71      | -1,16                      |
| PT (E,%)                | 55,65   | 1062,96    | 32,60         | 102,79     | -0,64                      |
| SST (E,%)               | 80,86   | 109,16     | 10,45         | 34,47      | -0,27                      |
| CQO (E,%)               | 80,90   | 155,27     | 12,46         | 49,87      | -1,98                      |
| CBO <sub>5</sub> (E,%)  | 88,19   | 106,84     | 10,34         | 43,33      | -3,04                      |

Tabela 6 - Caracterização estatística dos parâmetros Biológicos, Operacionais e Climáticos

| Parâmetros                                  | Média   | Variância | Desvio | Intervalo de variação | Coefficiente de assimetria |
|---------------------------------------------|---------|-----------|--------|-----------------------|----------------------------|
| <b>Ciliados móveis de fundo</b>             | 6,78    | 0,18      | 0,42   | 1,78                  | 0,10                       |
| <b>Ciliados sésseis</b>                     | 6,72    | 0,14      | 0,38   | 1,27                  | -0,15                      |
| <b>Vorticella microstoma</b>                | 6,47    | 0,20      | 0,45   | 1,32                  | 0,58                       |
| <b>Vorticella convallaria</b>               | 5,49    | 0,89      | 0,94   | 2,91                  | -0,34                      |
| <b>Vorticella campanula</b>                 | 2,97    | 6,33      | 2,52   | 5,90                  | -0,24                      |
| <b>Ciliados nadadores</b>                   | 4,85    | 4,15      | 2,04   | 6,99                  | -1,86                      |
| <b>Flagelados</b>                           | 8,44    | 0,11      | 0,33   | 1,09                  | 0,56                       |
| <b>Metazoários</b>                          | 3,71    | 1,13      | 1,07   | 4,48                  | -3,14                      |
| <b>IBL</b>                                  | 4,06    | 5,53      | 2,35   | 6,00                  | -0,33                      |
| <b>OD (Tanque)</b>                          | 3,33    | 3,32      | 1,82   | 6,28                  | -0,11                      |
| <b>SST (Tanque)</b>                         | 2713,75 | 190410,19 | 436,36 | 1373,33               | -0,05                      |
| <b>IM (Tanque)</b>                          | 150,31  | 1067,16   | 32,67  | 114,00                | -0,19                      |
| <b>Idade das lammas</b>                     | 3,36    | 3,72      | 1,93   | 6,90                  | 0,42                       |
| <b>F/M</b>                                  | 0,36    | 0,01      | 0,09   | 0,38                  | 1,67                       |
| <b>THR</b>                                  | 2,59    | 0,09      | 0,30   | 1,05                  | 1,68                       |
| <b>Efluente regularizado (m3)</b>           | 458,56  | 3278,13   | 57,25  | 178,00                | -1,17                      |
| <b>Recirculação lammas secundárias (m3)</b> | 409,25  | 1102,07   | 33,20  | 116,00                | -1,88                      |
| <b>Temperatura (C°)</b>                     | 15,70   | 17,37     | 4,17   | 14,70                 | 0,11                       |
| <b>Precipitação (mm)</b>                    | 0,20    | 0,56      | 0,75   | 3,00                  | 3,97                       |
| <b>Humidade relativa do ar (%)</b>          | 66,78   | 199,23    | 14,11  | 53,00                 | 0,31                       |

### 3.1. Parâmetros Físico-Químicos

#### 3.1.1. Parâmetros Físico-Químicos à entrada (F.Q.in)

Numa primeira análise, os parâmetros físico-químicos à entrada para os tanques biológicos (designados posteriormente no texto apenas por “tanque”) foram estudados com o objectivo de verificar possíveis relações entre eles. Os resultados, obtidos por ACP (Figura 2), análise de Clusters (Figura 3) e por Análise de Correlação de Pearson (Anexo 1, Tabela 1.1), demonstram algumas relações entre os vários parâmetros estudados.

Embora as análises deste tipo referidas na literatura consultada sejam feitas com um número de parâmetros menor do que os utilizados neste estudo (cerca de 50%), optou-se por utilizar toda a informação disponível e fazer a respectiva triagem com base nos resultados obtidos com as análises multivariadas<sup>[9,19]</sup>.

Numa primeira fase, a ACP foi realizada com todos os parâmetros estudados. Segundo esta análise, dois componentes principais explicam 65,12% da variância dos parâmetros físico-químicos seleccionados (Tabela 7). Na Figura 2 é possível identificar dois grupos de parâmetros distintos. Um é formado pelo NT, N-NH<sub>4</sub> e N-NO<sub>2</sub> e parece realçar o facto de à entrada no sistema de tratamento o azoto se apresentar quase totalmente sob a forma reduzida. Outro grupo é composto pelo CQO, SST, Temperatura e PT e parece traduzir, por um lado, a dependência dos processos oxidativos da temperatura do meio e, por outro lado, que grande parte da matéria oxidada se apresenta sob uma forma particulada e rica em fósforo. Verifica-se que o pH se encontra num quadrante isolado; uma possível explicação é o facto dos valores de pH, durante o estudo, terem sofrido grandes variações provocadas por alterações externas, tais como descargas de indústrias e adição de químicos nas etapas anteriores à da recolha de amostras. Os valores de N-NO<sub>3</sub> apresentaram sempre concentrações muito baixas, o que poderá explicar a posição deste parâmetro relativamente aos restantes.

Tabela 7 - Resultados da análise de ACP aos parâmetros físico-químicos à entrada do tanque

| Factor | Valor Próprio | Variação (%) | Variação Cumulativa (%) |
|--------|---------------|--------------|-------------------------|
| 1      | 4,59          | 41,76        | 41,76                   |
| 2      | 2,57          | 23,36        | 65,12                   |

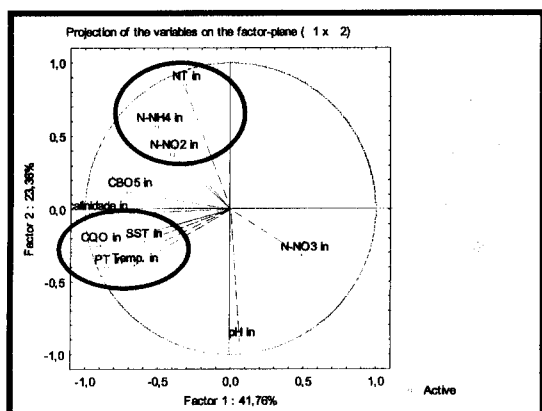


Figura 2 – Representação gráfica dos resultados da análise ACP de todos parâmetros físico-químicos à entrada do tanque

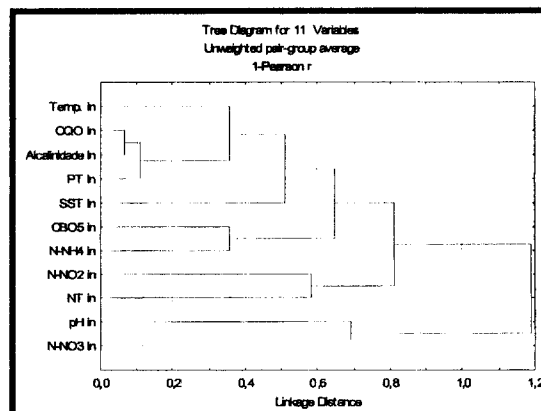


Figura 3 - Representação gráfica dos resultados da análise de Cluster para os parâmetros físico-químicos à entrada do tanque

A análise de Cluster realizada está representada na Figura 3. Nesta análise é possível verificar a forte ligação entre o CQO, PT e Alcalinidade. O afastamento do N-NO<sub>3</sub> e do pH é mais uma vez notório.

Com vista a diminuir o número de indicadores analíticos necessários para monitorizar o funcionamento do tanque biológico, repetiu-se a análise anterior retirando alguns parâmetros físico-químicos que, de acordo com as associações observadas nas Figuras 2 e 3 se podia considerar fornecerem informação redundante.

A nova análise revelou que com seis parâmetros físico-químicos (CQO, CBO<sub>5</sub>, NT, SST, PT e N-NH<sub>4</sub>) a variância explicada pelos dois primeiros eixos aumentou significativamente (74,30% - Tabela 8). Através da análise da Figura 4 verifica-se, mais uma vez, que o CQO, os SST e o PT se encontram muito próximos, provavelmente devido ao facto de o fósforo se apresentar ligado aos flocos do licor misto.

Tabela 8 - Resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à entrada do tanque (sem Temperatura, Alcalinidade, pH, Nitritos e Nitratos)

| Factor | Valor Próprio | Variância (%) | Variância Cumulativa (%) |
|--------|---------------|---------------|--------------------------|
| 1      | 2,98          | 49,74         | 49,74                    |
| 2      | 1,47          | 24,56         | 74,30                    |

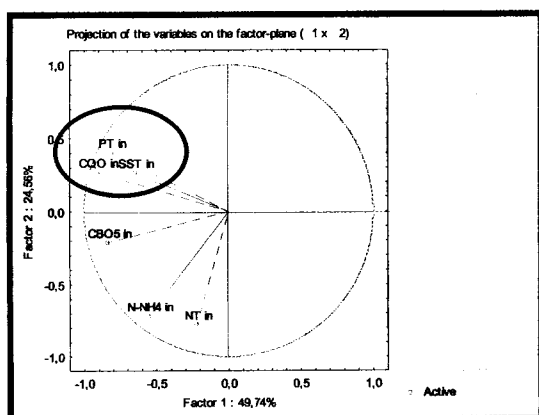


Figura 4 – Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à entrada do tanque (sem Temperatura, Alcalinidade, pH, Nitritos e Nitratos)

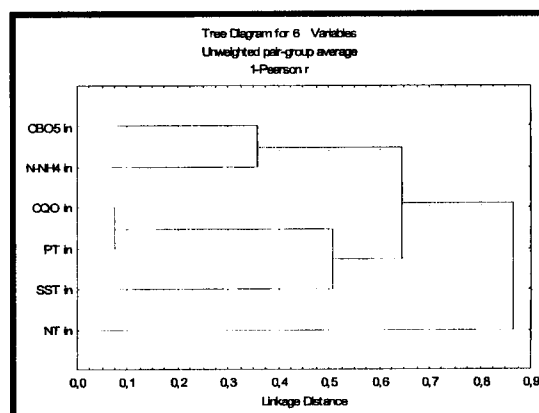


Figura 5 - Representação gráfica dos resultados da análise de Cluster para os parâmetros físico-químicos à entrada do tanque (apenas os melhores resultados)

Nesta análise retirou-se a Temperatura, o pH e a Alcalinidade pois, tal como já foi referido anteriormente, estes parâmetros sofreram grandes variações ao longo do estudo provocadas por alterações externas ao tratamento. O N-NO<sub>2</sub> e o N-NO<sub>3</sub> também foram extraídos da análise pois, no início do tratamento, apresentaram concentrações muito baixas, não sendo relevantes nesta fase do processo.

Para todos os grupos de variáveis identificados com base nos resultados gráficos da ACP, foi analisado o respectivo valor do coeficiente de correlação de Pearson. De uma forma geral, os resultados obtidos são coincidentes, reforçando a plausibilidade da interpretação que foi feita.

Por fim, a análise de Cluster (Figura 5) concorda em geral com os resultados obtidos na ACP.

### 3.1.2. Parâmetros Físico-Químicos à saída (F.Q.out)

Tal como foi feito nos parâmetros físico-químicos de entrada, inicialmente foram considerados todos os parâmetros estudados (Anexo 2, Tabela 2.1).

Através da análise ACP (Tabela 9, Figura 6), foi possível constatar que os dois primeiros factores explicam 50,95% da variância encontrada.

Tabela 9 - Resultados da análise de ACP aos parâmetros físico-químicos à saída do tanque

| Factor | Valor Próprio | Variância (%) | Variância Cumulativa (%) |
|--------|---------------|---------------|--------------------------|
| 1      | 3,59          | 32,63         | 32,63                    |
| 2      | 2,02          | 18,32         | 50,95                    |

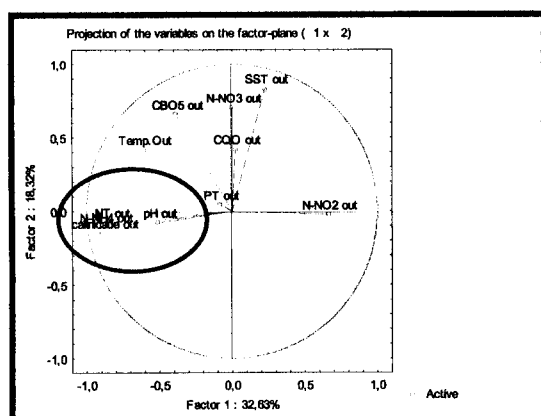


Figura 6 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP de todos parâmetros físico-químicos à saída do tanque

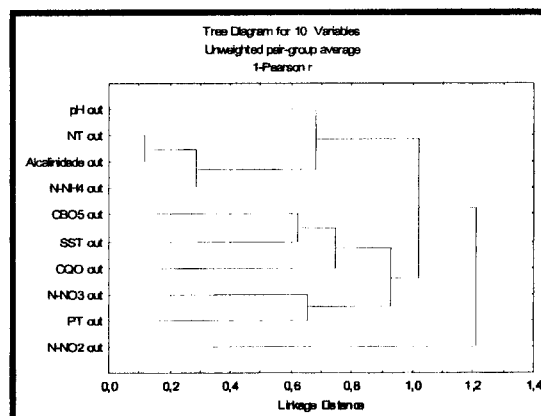


Figura 7 - Representação gráfica dos resultados da análise de Cluster para os parâmetros físico-químicos à saída do tanque

Analisando a Tabela 2.1 do Anexo 2, verifica-se uma correlação negativa e significativa ( $r=-0,680$ ) entre as concentrações de  $N-NO_2$  e de  $N-NH_4$ , o que pode ser explicado através da Nitrificação. A Nitrificação é um processo biológico de conversão de  $N-NH_4$  em  $N-NO_3$  que ocorre em duas etapas: Nitritação e Nitratação. A primeira etapa é descrita pela seguinte equação (Equação 1):  $N-NH_4 + O_2 \rightarrow N-NO_2 + \text{energia}$ .

E a segunda etapa ocorre de acordo com a seguinte equação (Equação 2):  $N-NO_2 + O_2 \rightarrow N-NO_3 + \text{energia}$  [13].

Através da Equação 1 podemos verificar que à medida que a concentração de  $N-NH_4$  diminui, a concentração de  $N-NO_2$  aumenta. É importante referir que quando ocorre Nitritação há uma diminuição da Alcalinidade do meio e, por este motivo, os valores de  $N-NO_2$  apresentaram uma correlação negativa e significativa ( $r=-0,558$ ) com a Alcalinidade.

A Figura 6 também demonstra estas relações, pois é possível verificar que o  $N-NO_2$  se encontra no quadrante oposto à Alcalinidade,  $N-NH_4$  e NT.

O  $N-NH_4$  apresentou uma correlação positiva e significativa ( $r=0,740$ ) com a Alcalinidade pois tal como já foi referido anteriormente, na primeira etapa da Nitrificação ocorre diminuição da concentração de  $N-NH_4$  e da Alcalinidade do meio, daí se verificar esta relação.

A Alcalinidade também apresentou uma correlação positiva e significativa ( $r=0,879$ ) com a concentração de NT no efluente final, pelas razões atrás referidas.

A análise de Cluster (Figura 7) corrobora os resultados obtidos com a aplicação da ACP.

Mais uma vez, de forma a simplificar as análises foram retirados parâmetros que pareceram fornecer informação redundante tais como  $N-NO_2$ ,  $N-NO_3$ ,  $NH_4$ . Nesta fase optou-se por utilizar os parâmetros físico-químicos exigidos pelo Decreto-lei nº 236/98. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 10 e Figura 8.

Tabela 10 - Resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à saída do tanque (sem a Temperatura, pH, Nitritos, Nitratos, Azoto Amoniacal e Alcalinidade)

| Factor | Valor Próprio | Variância (%) | Variância Cumulativa (%) |
|--------|---------------|---------------|--------------------------|
| 1      | 1,69          | 33,82         | 33,82                    |
| 2      | 1,28          | 25,67         | 59,50                    |

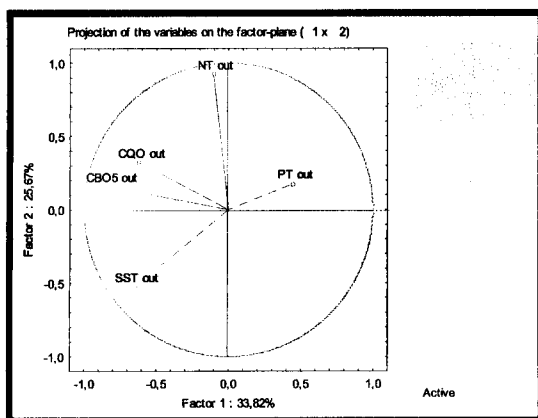


Figura 8- Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à saída do tanque (sem a Temperatura, pH, Nitritos, Nitratos, Azoto Amoniacal e Alcalinidade)

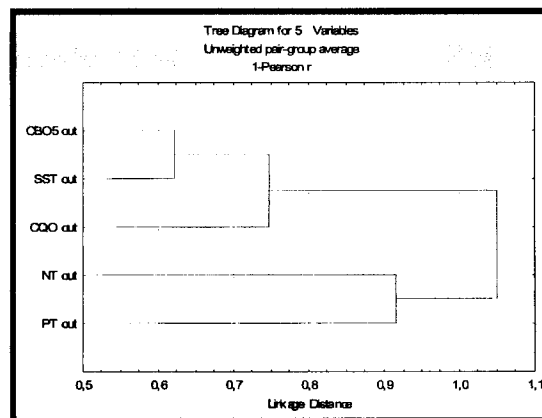


Figura 9 - Representação gráfica dos resultados da análise de Cluster para os parâmetros físico-químicos à saída do tanque (apenas os melhores resultados)

Os resultados encontrados na análise de Cluster (Figura 9) vão de encontro aos resultados da ACP.

### 3.2. Parâmetros Biológicos

De forma a encontrar possíveis relações entre os microrganismos presentes no conjunto dos tanques biológicos foram realizadas Análise de Componentes Principais (Figura 10 e Tabela 10), Análise de Clusters (Figura 11) e Correlação de Pearson (Anexo 3, Tabela 3.1).

A análise de ACP inicialmente realizada revelou que os dois primeiros factores explicam cerca de 65% da variação dos parâmetros biológicos (Tabela 11).

Tabela 11 - Resultados da análise ACP aos parâmetros biológicos do tanque

| Factor | Valor Proprio | Variancia (%) | Variancia Cumulativa (%) |
|--------|---------------|---------------|--------------------------|
| 1      | 3,09          | 38,57         | 38,57                    |
| 2      | 2,09          | 26,17         | 64,75                    |

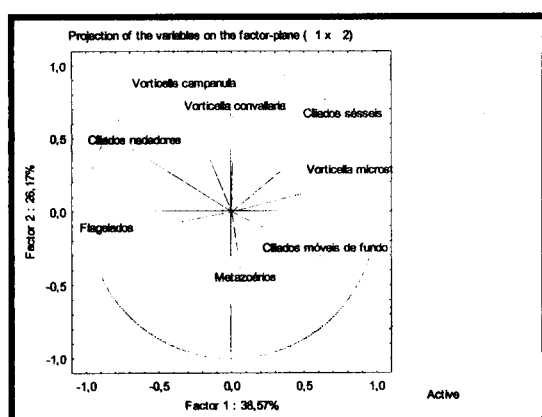


Figura 10- Representação gráfica dos resultados da análise ACP para a densidade dos microrganismos encontrados

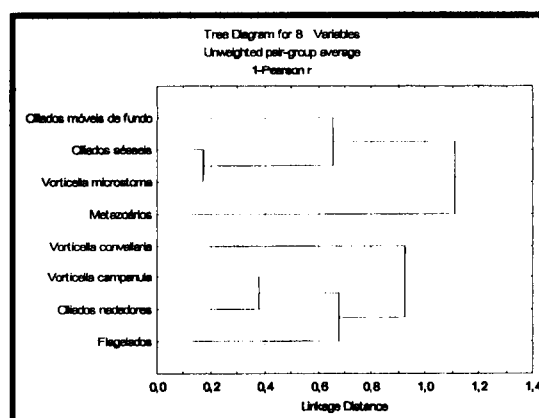


Figura 11- Representação gráfica dos resultados da análise de Cluster para a densidade dos microrganismos encontrados

Os Ciliados Sésseis encontram-se associados aos flocos, uma vez que estão presos a estes por um pedúnculo, ao passo que os Flagelados nadam livres no licor misto. À medida que a floculação aumenta nos tanques biológicos, os Flagelados são substituídos gradualmente pelos Ciliados Sésseis, filtradores muito mais eficientes, que ganham a competição pelas bactérias dispersas do licor misto, daí se verificar uma correlação negativa ( $r = -0,7$ ) entre ambos (Tabela 3.1 do Anexo 3) [2, 5, 15, 17]. Também se verifica uma relação positiva ( $r = 0,51$ ) entre os Ciliados Nadadores e os Flagelados pois ambos nadam no licor misto e são característicos da fase inicial do tratamento [2,15].

Através da Figura 11, observa-se uma vez mais a relação existente entre os Ciliados Sésseis e as *Vorticella microstoma* a que posteriormente se juntam aos Ciliados Móveis de Fundo. Todos estes microrganismos estão relacionados entre si pois todos dependem do floco [2, 3, 5, 7, 8, 15, 17]. Por outro lado é possível verificar um afastamento dos Metazóários pois estes microrganismos são característicos de efluente industrial, sendo que apareciam pontualmente ao longo do estudo [2].

De acordo com a análise realizada, verificou-se que alguns microrganismos estariam a fornecer informação redundante pelo que se efectuou uma nova análise com um número de variáveis menor.

Assim sendo, iniciou-se a análise retirando os Metazoários do estudo, uma vez que estes microrganismos raramente apareceram pois são típicos de efluentes industriais <sup>[2]</sup>. Decidiu-se igualmente retirar também *Vorticella campanula* pois este microrganismo necessita de ambientes com uma concentração relativamente elevada de oxigénio, não sendo um indicador relevante neste tipo de tanque. Através da análise da representação gráfica obtida, verifica-se uma estreita relação entre a *Vorticella microstoma* e os Ciliados Sésseis pelo que se decidiu extrair esta variável por parecer fornecer informação redundante. O mesmo acontece para a *Vorticella convallaria*.

Os resultados obtidos demonstram que os dois primeiros factores explicam cerca de 77% da variação encontrada (Tabela 12).

Tabela 12 - Resultados da análise ACP aos parâmetros biológicos do tanque (sem *Vorticella microstoma*, *Vorticella campânula* e *Vorticella convallaria* e Metazoários)

| Factor | Valor Proprio | Variancia (%) | Variancia Cumulativa (%) |
|--------|---------------|---------------|--------------------------|
| 1      | 2,26          | 56,56         | 56,56                    |
| 2      | 0,83          | 20,63         | 77,19                    |

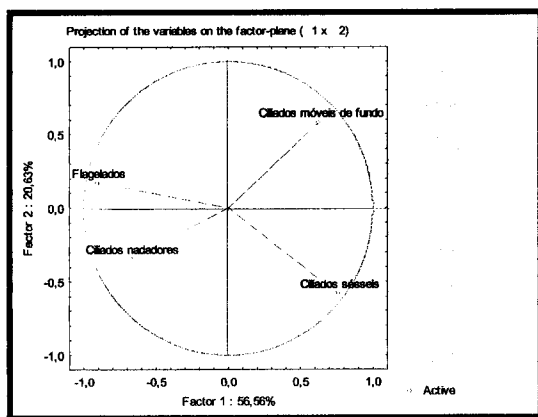


Figura 12- Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros biológicos do tanque (sem *Vorticella microstoma*, *Vorticella campânula*, *Vorticella convallaria* e Metazoários)

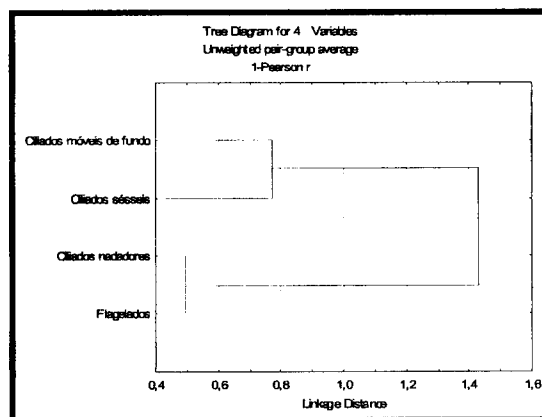


Figura 13- Representação gráfica dos resultados da análise de Cluster para a densidade dos microrganismos encontrados (sem Metazoários e *Vorticella*)

Através da análise da Figura 12, é possível verificar a estreita relação entre os Flagelados e Ciliados Nadadores, ambos caracterizados por nadarem no licor misto. Verifica-se que o factor 1 separa os microrganismos por habitat, sendo os Ciliados Móveis de Fundo e os Ciliados Sésseis caracterizados por estarem associados aos flocos, ao passo que os Ciliados Nadadores e os Flagelados se encontram livres no licor misto. O factor 2 separa os microrganismos com base na respectiva abundância relativa, sendo os Ciliados Móveis de Fundo e os Flagelados os grupos que predominaram ao longo do estudo <sup>[2, 3, 15, 17]</sup>.

Por fim, a análise de Cluster (Figura 13) reforça os resultados obtidos na ACP.

### 3.3. Eficiências de remoção

Os resultados obtidos através da matriz de Correlação de Pearson (Tabela 4.1 do Anexo 4) vão de encontro aos que foram obtidos na análise dos parâmetros físico-químicos. Verificou-se uma correlação negativa ( $r=-0,715$ ) entre a Eficiência de Remoção do  $N-NH_4$  e a do  $N-NO_2$ . Isto deve-se certamente ao facto de haver uma diminuição da concentração de  $N-NH_4$  e um aumento da concentração de  $N-NO_2$  na Nitrificação [13].

A análise de ACP realizada inicialmente, permitiu verificar que os dois primeiros factores explicaram 52% da variação encontrada (Tabela 13 e Figura 14). Em primeiro lugar, observa-se uma oposição clara entre a eficiência de remoção de  $N-NO_2$  e os restantes indicadores. Isto explica-se pelo facto de esta apresentar valores negativos muito elevados, uma vez que o processo de nitrificação aumenta a concentração destes no tanque. Em segundo lugar, verifica-se mais uma vez, uma forte associação entre os SST, PT e CQO pelas razões anteriormente referidas. Finalmente, a associação entre  $CBO_5$  e as eficiências de remoção dos compostos azotados, com excepção de  $N-NO_2$ , parece indicar que estes processos oxidativos são de base biológica. A análise de Cluster (Figura 15) reforça os resultados obtidos.

Tabela 13 - Resultados da análise ACP às eficiências de remoção do tratamento

| Factor | Valor Próprio | Variancia (%) | Variancia Cumulativa (%) |
|--------|---------------|---------------|--------------------------|
| 1      | 2,69          | 29,91         | 29,91                    |
| 2      | 2,00          | 22,18         | 52,09                    |

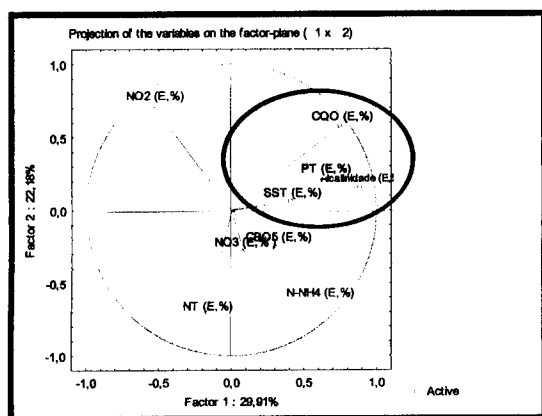


Figura 14 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP às eficiências de remoção do tratamento

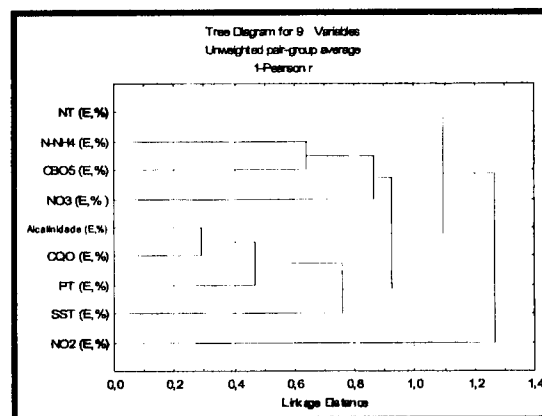
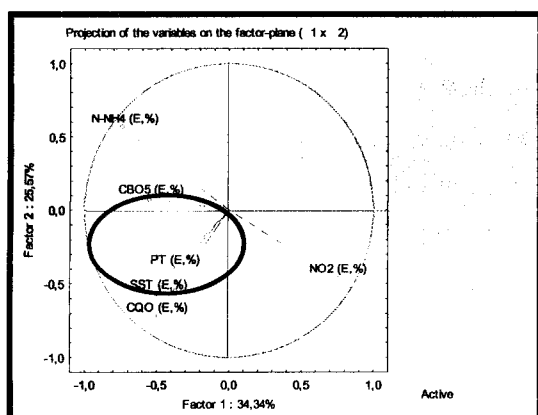
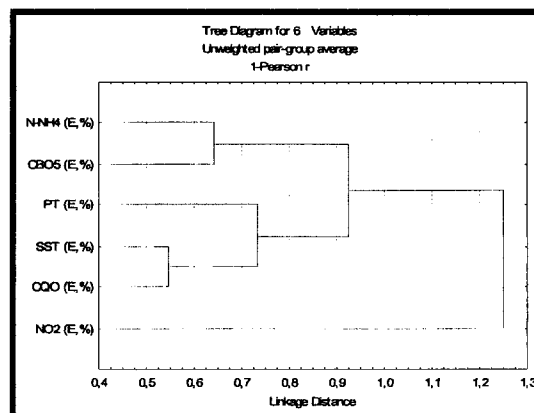


Figura 15 - Representação gráfica dos resultados da análise de Cluster às eficiências de remoção do tratamento

Apesar de se notar uma redundância na informação obtida, de modo a manter o conjunto de parâmetros que é normalmente, utilizado na literatura, realizou-se uma nova análise retirando apenas o NT,  $N-NO_3$  e a Alcalinidade. A Tabela 14 demonstra que os dois primeiros factores explicam cerca de 60% da variação encontrada. Através da Figura 16 podemos observar novamente a forte relação entre os SST, PT e CQO.

Tabela 14 - Resultados da análise ACP às eficiências de remoção do tratamento (sem NO<sub>3</sub>, Alcalinidade e NT)

| Fator | Valor Próprio | Variação (%) | Variação Cumulativa (%) |
|-------|---------------|--------------|-------------------------|
| 1     | 2,06          | 34,34        | 34,34                   |
| 2     | 1,53          | 25,57        | 59,90                   |

Figura 16 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP às eficiências de remoção do tratamento (sem NO<sub>3</sub>, Alcalinidade e NT)Figura 17 - Representação gráfica dos resultados da análise de Cluster às eficiências de remoção do tratamento (sem NO<sub>3</sub>, Alcalinidade e NT)

Por fim, mais uma vez a análise de Cluster (Figura 17) reforça os resultados encontrados na ACP.

### 3.4. Parâmetros Operacionais

A concentração de oxigénio dissolvido (OD) é outro dos parâmetros importantes para a análise da qualidade de água, uma vez que todos os microrganismos aeróbios estão dependentes do oxigénio para manter a actividade metabólica que produz energia para o seu desenvolvimento <sup>[13]</sup>. Através da ACP (Figura 18), é possível observar uma grande distância entre o Oxigénio Dissolvido e a Concentração de SST (tanque). O aumento da Concentração de SST nos Tanques leva a um aumento da microfauna nas Lamas Activadas e, consequentemente, a uma diminuição da concentração de oxigénio dissolvido.

O Tempo Hidráulico de Retenção (THR) é calculado através do quociente entre o volume do Tanque e o caudal do efluente <sup>[13]</sup>. Este parâmetro apresenta uma correlação negativa ( $r = -0,95$ ) com o Caudal de Recirculação das Lamas Secundárias (Anexo 5, Tabela 5.1). O mesmo se verificou na ACP e na análise de Cluster (Figura 18 e 19 respectivamente) onde os parâmetros se encontram em bastante afastados.

A Idade das Lamas é um parâmetro que permite avaliar se a biomassa resultante dos tanques de arejamento vai ter boas características para sedimentar de modo adequado. Em contrapartida, o Índice de Mollman é definido pela razão entre o volume de sólidos decantáveis e os sólidos em suspensão, ou seja, reflecte a densidade da lama e permite avaliar o tipo de substrato presente nas Lamas Activadas <sup>[13]</sup>. Ambos os parâmetros não apresentaram correlações significativas.

O Índice Biótico de Lamas é uma ferramenta que compara a qualidade biológica das lamas nos tanques de arejamento ao longo do tempo e, consequentemente, as condições operacionais da estação em causa. Este parâmetro também não apresentou nenhuma relação significativa <sup>[10]</sup>.

Os dois primeiros eixos da análise de ACP realizada inicialmente com todos os parâmetros explicam cerca de 57% da variação total (Tabela 15). Mais uma vez, de forma a simplificar o método de análise foram efectuadas várias análises ACP (Anexo 5).

Tabela 15 - Resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais do tanque

| Factor | Valor Próprio | Varlância (%) | Varlância Cumulativa (%) |
|--------|---------------|---------------|--------------------------|
| 1      | 3,53          | 39,23         | 39,23                    |
| 2      | 1,61          | 17,92         | 57,16                    |

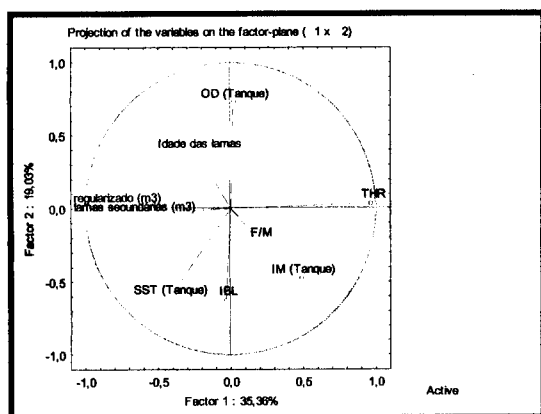


Figura 18 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais do tanque

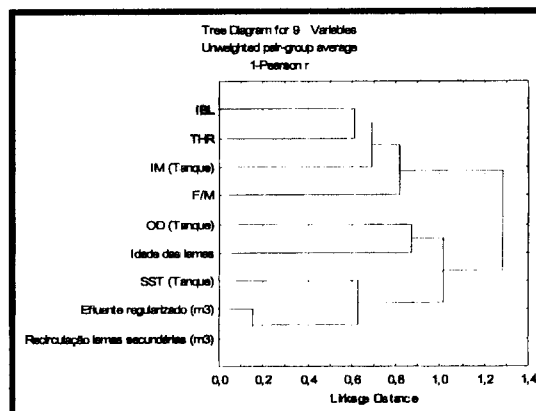


Figura 19 - Representação gráfica dos resultados da análise Cluster aos parâmetros operacionais do tanque

Por fim, após a análise realizada, decidiu-se retirar o efluente regularizado pois este apresenta uma correlação positiva e significativa ( $r=0,85$ ) com a recirculação das lamas secundárias, apresentando informação redundante. O Índice de Mollman, a Idade das Lamas e a razão F/M também não foram utilizados pois ambos os parâmetros não apresentaram correlações significativas com nenhum dos outros parâmetros, pelo que não trazem informações relevantes para este estudo.

Os resultados obtidos na análise final demonstram que os dois primeiros factores explicam cerca de 78% da variação (Tabela 16). Através da ACP (Figura 20) verifica-se uma oposição do OD em relação aos restantes parâmetros. Por outro lado é notória uma aproximação entre o THR e o IBL, facto que vai de encontro à literatura encontrada pois com um aumento do THR, a microfauna existente no tanque biológico tem mais tempo para transformar a matéria orgânica, espécies características de serem boas indicadoras têm maior tendência a aparecer, havendo uma melhoria na eficiência do tratamento e, conseqüentemente um aumento do IBL. Os SST e a Recirculação de Lamas Secundárias também apresentam uma relação positiva entre si, apesar de não ser significativa a correlação de Pearson (Anexo 5, Tabela 5.1.).

A análise de Cluster (Figura 21) corrobora os resultados encontrados na ACP.

Tabela 16 - Resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais do tanque (sem efluente regularizado, Idade das Lamas, Índice de Mollman e razão F/M)

| Factor | Valor Próprio | Variancia (%) | Variancia Cumulativa (%) |
|--------|---------------|---------------|--------------------------|
| 1      | 2,32          | 46,38         | 46,38                    |
| 2      | 1,59          | 31,85         | 78,23                    |

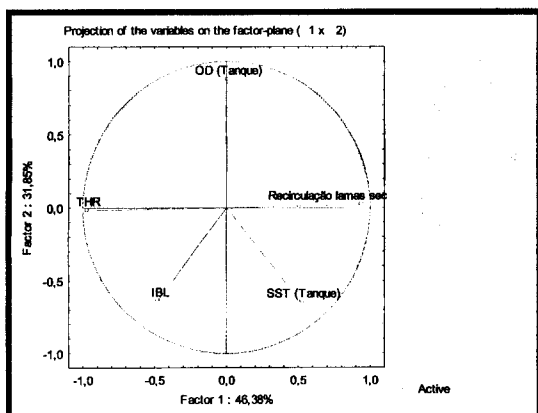


Figura 20- Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais do tanque (sem efluente regularizado, Idade das Lamas, Índice de Mollman e razão F/M)

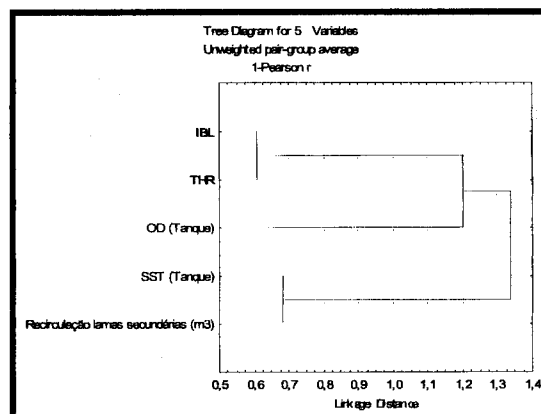


Figura 21 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais do tanque (sem efluente regularizado, Idade das Lamas, Índice de Mollman e razão F/M)

3.5. Parâmetros Físico-químicos entrada/Parâmetros Biológicos

De forma a avaliar a influência dos parâmetros físico-químicos a montante do tratamento biológico, realizaram-se várias análises estatísticas.

Na análise de ACP realizada inicialmente verifica-se que os dois primeiros factores explicam cerca de 47% da variação encontrada (Anexo 6).

Foi ainda realizada uma segunda análise de ACP apenas com os principais grupos de Ciliados e os parâmetros físico-químicos encontrados nas análises anteriormente realizadas, que demonstraram ser mais relevantes no estudo. Verificou-se que os dois primeiros factores explicam cerca de 54% da variação encontrada (Tabela 17).

Tabela 17 - Resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à entrada e parâmetros biológicos tanque (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

|   | Valor Próprio | Variância (%) | Variância Cumulativa (%) |
|---|---------------|---------------|--------------------------|
| 1 | 3,45          | 34,48         | 34,48                    |
| 2 | 1,94          | 19,41         | 53,89                    |

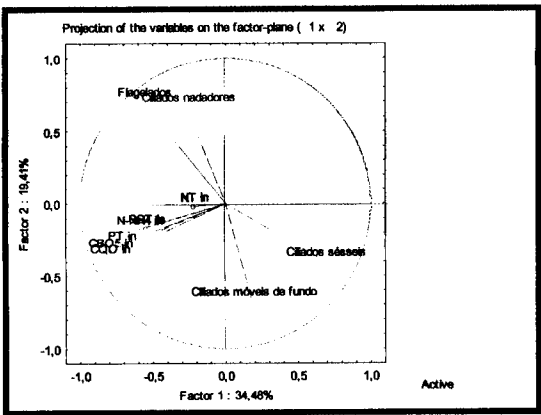


Figura 22 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à entrada e parâmetros biológicos do tanque (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

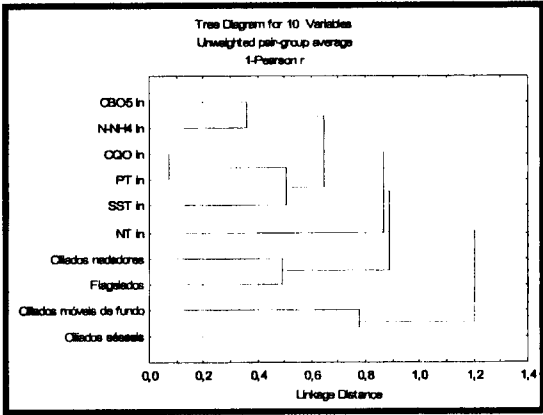


Figura 23 - Representação gráfica dos resultados da análise de Cluster aos parâmetros físico-químicos à entrada e parâmetros biológicos do tanque (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

Através das Figuras 22 e 23 é possível observar uma oposição dos Ciliados Móveis de Fundo e dos Ciliados Sésseis em relação ao CBO<sub>5</sub>, CQO, SST, PT, N-NH<sub>4</sub>. Apesar de não se ter verificado correlações significativas entre estes parâmetros neste estudo, alguns autores referem esta relação <sup>[3]</sup>. Algumas das possíveis razões para não se terem verificado correlações significativas poderão ser um tempo curto de amostragem e a existência de uma grande variabilidade dos dados.

### 3.6. Parâmetros Físico-químicos saída/Parâmetros Biológicos

Foram utilizados os mesmos métodos de análise para estes parâmetros de forma a encontrar as melhores relações entre eles. No Anexo 7 encontram-se alguns dos resultados obtidos.

Numa análise realizada posteriormente, verificou-se que os dois primeiros factores da ACP explicam cerca de 52% da variação encontrada (Tabela 18).

Tabela 18 - Resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à saída e parâmetros biológicos tanque (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

| Factor | Valor Próprio | Variancia (%) | Variancia Cumulativa (%) |
|--------|---------------|---------------|--------------------------|
| 1      | 3,07          | 30,71         | 30,71                    |
| 2      | 2,12          | 21,21         | 51,92                    |

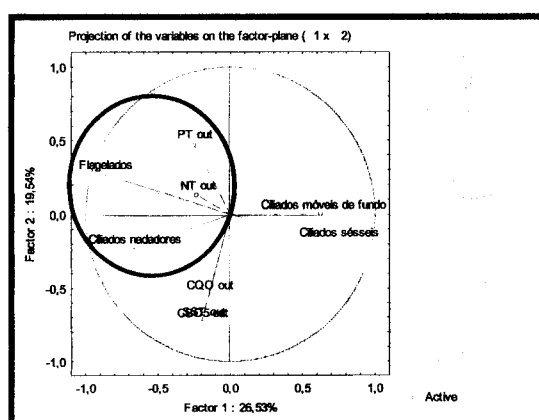


Figura 24 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à saída e parâmetros biológicos do tanque (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

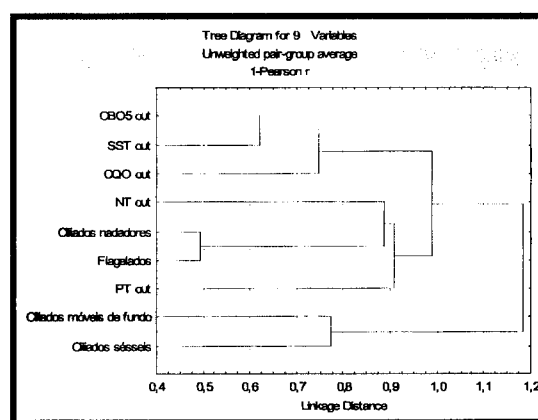


Figura 25 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à saída e parâmetros biológicos do tanque (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

Através da Figura 24 é possível verificar uma oposição entre os Ciliados Móveis de Fundo e Ciliados Sésseis com os restantes parâmetros. Por outro lado, é notória uma aproximação entre os Flagelados e os Ciliados Nadadores e o PT e NT à saída do tanque. A análise de Cluster (Figura 25) vai de encontro à ACP.

### 3.7. Parâmetros Operacionais/Parâmetros Biológicos

De forma a avaliar a relação entre os parâmetros operacionais e os parâmetros biológicos foram realizadas várias análises (Anexo 8). Uma vez que, ambos os parâmetros já foram analisados anteriormente, utilizaram-se apenas as variáveis que se consideraram mais relevantes para este estudo.

A ACP revelou que os dois primeiros factores explicam 56,58% da variação (Tabela 19).

Tabela 19 - Resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e parâmetros biológicos (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

| Factor | Valor Próprio | Variancia (%) | Variancia Cumulativa (%) |
|--------|---------------|---------------|--------------------------|
| 1      | 2,93          | 32,52         | 32,52                    |
| 2      | 2,17          | 24,06         | 56,58                    |

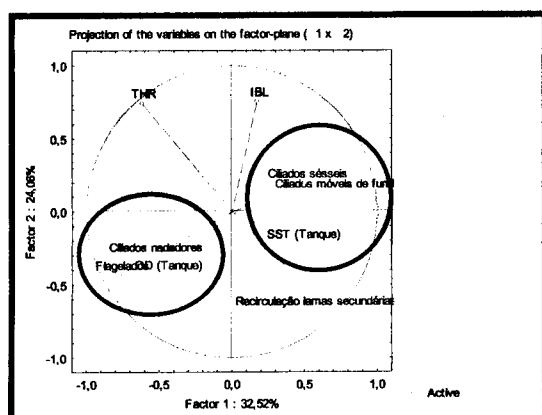


Figura 26 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e parâmetros biológicos do tanque (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

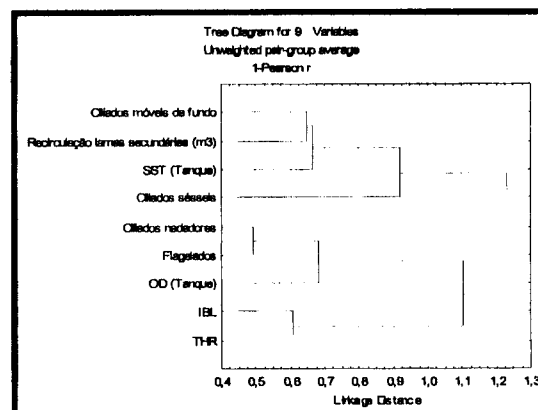


Figura 27 - Representação gráfica dos resultados da análise de Cluster aos parâmetros operacionais e parâmetros biológicos do tanque (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

Em ambas as análises realizadas (Figuras 26 e 27) verifica-se uma relação entre os Ciliados Nadadores e os Flagelados com o OD, contudo na análise de correlação de Pearson (Anexo 8, Tabela 8.1.) esta relação não é significativa. O mesmo acontece entre os Ciliados Sésseis, Ciliados Móveis de Fundo e os SST (Tanque). No entanto, esta relação vai de encontro à literatura pois estes microrganismos encontram-se associados ao floco existente no tanque de arejamento [2, 3, 5, 7, 8, 15, 17].

### 3.8. Parâmetros Biológicos/Eficiências de remoção

Tal como nas análises anteriores, foi avaliada a relação entre os parâmetros biológicos e as eficiências de remoção. A correlação de Pearson (Anexo 9, Tabela 9.1.) revelou que não existem correlações significativas, à excepção dos Metazoários que apresentam uma correlação positiva e significativa com a eficiência de remoção do CQO.

A análise ACP (Tabela 20) revela que os dois primeiros factores explicam aproximadamente 47% da variação. Na Figura 28 observa-se o afastamento dos Ciliados Móveis de Fundo e dos Ciliados Sésseis com os restantes parâmetros. O mesmo se verifica na análise de Cluster (Figura 29). Verifica-se também uma relação entre os Ciliados Nadadores, Flagelados e Eficiência de remoção de N-NO<sub>2</sub> para a qual se desconhece uma explicação plausível.

Tabela 20 - Resultados da análise ACP aos parâmetros biológicos e eficiências de remoção (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

| Factor | Valor Próprio | Variação (%) | Variação Cumulativa (%) |
|--------|---------------|--------------|-------------------------|
| 1      | 2,74          | 27,43        | 27,43                   |
| 2      | 1,94          | 19,41        | 46,84                   |

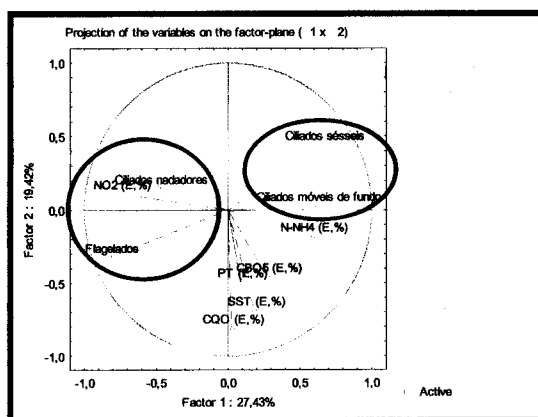


Figura 28 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros biológicos e eficiências de remoção (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

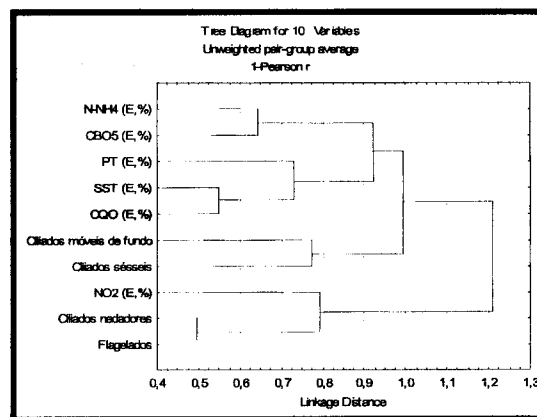


Figura 29 - Representação gráfica dos resultados da análise de Cluster aos parâmetros biológicos e eficiências de remoção (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

### 3.9. Parâmetros Operacionais/Parâmetros físico-químicos à entrada

Uma vez mais foram realizadas várias análises de forma a estabelecer relações entre os parâmetros operacionais e os parâmetros físico-químicos à entrada do tanque.

A análise ACP revela que os dois primeiros factores explicam cerca de 63% da variação encontrada (Tabela 21). A Figura 30 demonstra um claro afastamento entre os SST (Tanque) e Recirculação das Lamas Secundárias com as restantes variáveis. Entre outros factores, este afastamento poderá dever-se à correlação existente entre o THR e a Recirculação de Lamas Secundárias<sup>[13]</sup>. O mesmo se verifica na análise de Cluster onde estes dois parâmetros formam um Cluster entre si (Figura 31).

Tabela 21 - Resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e parâmetros físico-químicos à entrada (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

| Factor | Valor Próprio | Variação (%) | Variação Cumulativa (%) |
|--------|---------------|--------------|-------------------------|
| 1      | 4,65          | 42,25        | 42,25                   |
| 2      | 2,26          | 20,56        | 62,81                   |

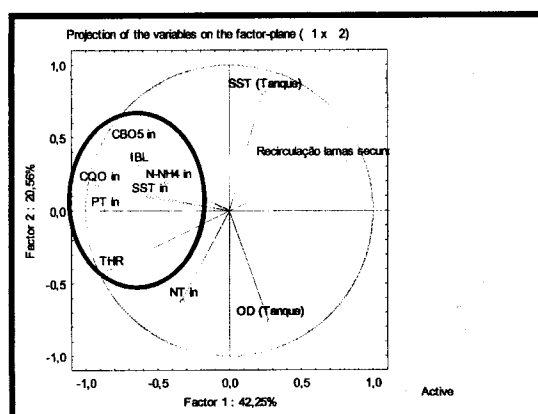


Figura 30 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e parâmetros físico-químicos à entrada (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

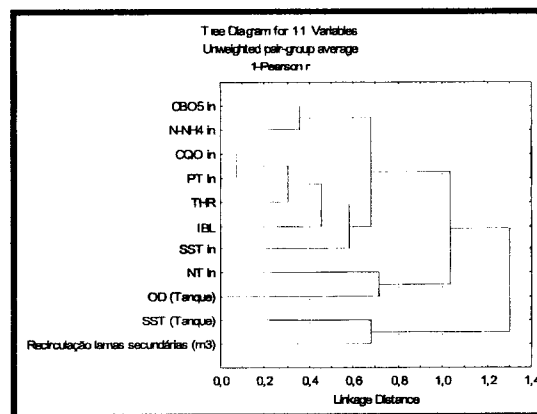


Figura 31 - Representação gráfica dos resultados da análise de Cluster aos parâmetros operacionais e parâmetros físico-químicos à entrada (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

O IBL e o THR encontram-se próximos de vários parâmetros físico-químicos entre os quais CQO, PT e CBO<sub>5</sub>. Esta relação também se verifica na correlação de Pearson (Anexo 10, Tabela 10.1.). Estes dois parâmetros apresentam uma correlação positiva e significativa entre o CQO e PT (IBL:  $r=0,64$  e  $r=0,59$  respectivamente e THR:  $r=0,66$  e  $r=0,73$ ). Uma explicação possível para esta relação pode estar no facto de, para maiores cargas orgânicas à entrada, maiores THR permitirem maiores eficiências de tratamento, logo maior valor de IBL.

### 3.10. Parâmetros Operacionais/Parâmetros físico-químicos à saída

De forma a avaliar a relação entre os parâmetros operacionais e os parâmetros físico-químicos à saída do tanque foram realizadas várias análises (Anexo 11). Ambos os parâmetros já foram analisados anteriormente, pelo que utilizaram-se apenas as variáveis que se consideram mais relevantes para este estudo.

A análise ACP revela que os dois primeiros factores explicam aproximadamente 50% da variação encontrada (Tabela 22).

Tabela 22 - Resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e parâmetros físico-químicos à saída (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

| Factor | Valor Próprio | Variação (%) | Variação Cumulativa (%) |
|--------|---------------|--------------|-------------------------|
| 1      | 3,19          | 31,96        | 31,96                   |
| 2      | 1,78          | 17,83        | 49,79                   |

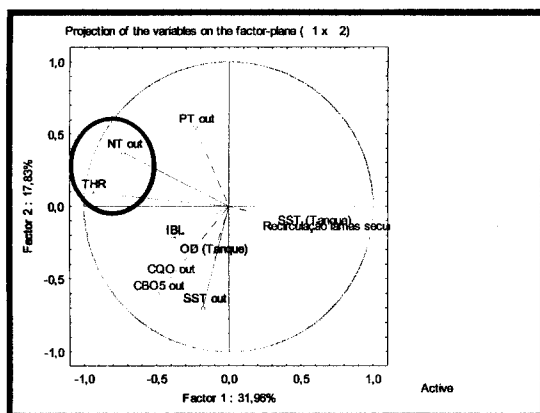


Figura 32 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e parâmetros físico-químicos à saída (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

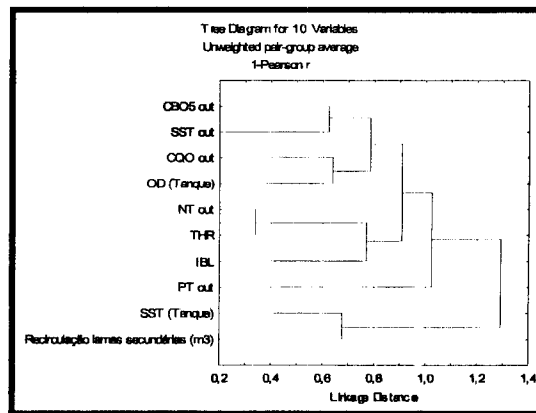


Figura 33 - Representação gráfica dos resultados da análise de Cluster aos parâmetros operacionais e parâmetros físico-químicos à saída (apenas aos melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

A Figura 32 demonstra as relações encontradas entre as várias variáveis. É possível observar uma relação positiva entre o THR e o NT à saída do tanque, também verificada através da correlação de Pearson (Anexo 11, Tabela 11.1.) onde estes apresentam uma correlação positiva e significativa entre si ( $r=0,66$ ). Esta relação, que seria expectável que fosse negativa, parece traduzir o facto de os THR utilizados não serem suficientes para uma eficaz remoção do NT (em média 16%)<sup>[13]</sup>. Observa-se ainda uma oposição entre os SST (Tanque) e Recirculação das Lamas Secundárias em relação ao NT, que vai de encontro à correlação

encontrada (Anexo 11, Tabela 11.1.). O NT apresenta uma correlação negativa e significativa ( $r=-0,62$ ) com a Recirculação de Lamas Secundárias. Uma possível explicação poderá ser um aumento da microfauna resultante da Recirculação de Lamas Secundárias que ajudam no processo de Nitrificação. No entanto, este aumento não é suficiente para que se verifique uma melhoria significativa na eficiência de remoção de NT.

A análise de Cluster (Figura 33) corrobora dos resultados obtidos na ACP.

3.11. Parâmetros Operacionais/Eficiência de remoção

Uma vez foram realizadas análises de forma a estabelecer relações entre os parâmetros operacionais e as eficiências de remoção.

A Tabela 23 demonstra que os dois primeiros factores explicam cerca de 51% da variação.

Tabela 23 - Resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e eficiências de remoção

| Factor | Valor Próprio | Variancia (%) | Variancia Cumulativa (%) |
|--------|---------------|---------------|--------------------------|
| 1      | 2,94          | 26,76         | 26,76                    |
| 2      | 2,69          | 24,43         | 51,19                    |

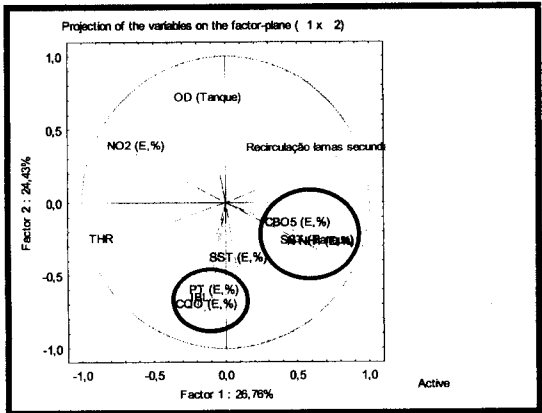


Figura 34 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e eficiências de remoção (apenas os melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

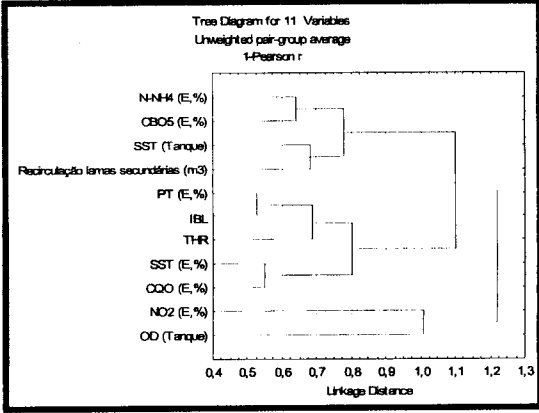


Figura 35 - Representação gráfica dos resultados da análise de Cluster aos parâmetros operacionais e eficiências de remoção (apenas os melhores resultados obtidos nas análises anteriores)

Na Figura 34 é possível verificar uma relação oposta entre o THR e a Recirculação de Lamas Secundárias, o que faz sentido uma vez que, quanto menor o THR, tanto maior terá que ser a Recirculação de Lamas para garantir boas eficiências de tratamento. Por outro lado, faz igualmente sentido a oposição verificada entre as eficiências de remoção de carga orgânica e o OD, uma vez que durante o processo ocorre um consumo intensivo de oxigénio<sup>[13]</sup>.

Os resultados encontrados na análise de Cluster (Figura 35) estão de acordo com a ACP.

3.12. Parâmetros climáticos

Os parâmetros climáticos precipitação e humidade relativa do ar não foram utilizados pois verificou-se que não exerciam grande influência nos resultados e que só fariam sentido num estudo mais longo de forma a realçar a flutuação sazonal da composição das águas residuais.

### 3.13. Modelação

Pretendeu-se neste ponto otimizar as eficiências de remoção a partir da análise de alguns parâmetros que melhor traduzem o nível de tratamento existente na ETAR. O modelo matemático mais simples que pode ser usado para descrever o tratamento de uma ETAR é um modelo de regressão linear ao qual se vão juntando termos não lineares se necessário.

A regressão linear múltipla (MLR – *Multiple Linear Regression*) procura modelar a relação entre duas ou mais variáveis independentes e a variável de resposta ( $y$ ), através do ajuste dos dados observados a uma equação linear.

$$y = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i x_i + \varepsilon$$

em que  $x_i$  ( $i=1, \dots, k$ ) são as variáveis independentes,  $\beta_i$  ( $i=0, \dots, k$ ) os coeficientes de regressão, e  $\varepsilon$  o erro associado à regressão, que se assume ter distribuição normal e variância constante.

O valor previsto dado pelo modelo de regressão ( $y$ ) é calculado através de:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i x_i$$

O método mais comum para estimar os parâmetros de regressão  $\beta_i$  é a minimização da soma do quadrado dos erros, segundo a equação <sup>[12, 14]</sup>:

$$\hat{\beta}_i = \arg \min \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

A fim de comparar diversos modelos de regressão, começou-se por incluir todas as variáveis independentes, optando pelo método Enter, que obriga à inclusão de todas as variáveis independentes no modelo, sejam ou não significativas; seguidamente, repetiu-se a metodologia, optando por outros métodos de cálculo, nomeadamente Stepwise, Forward (métodos de inclusão progressiva de variáveis independentes) e Backward (método de eliminação progressiva de variáveis independentes). Verificou-se que os métodos que melhor caracterizam a eficácia do tratamento são os métodos Forward e Stepwise, pelo que se optou por este último para as restantes análises. Os resultados obtidos encontram-se no Anexo 13.

A Tabela 24 resume os resultados obtidos através do Modelo de Regressão Linear Múltipla para as várias Eficiências de Remoção.

Tabela 24 – Resultados obtidos através do Modelo de Regressão Linear Múltipla

| Eficiência de Remoção | R                           | R <sup>2</sup> | R <sub>a</sub> <sup>2</sup> | Equação                                                |
|-----------------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------|
| CBO <sub>5</sub>      | 0,933                       | 0,87           | 0,85                        | CBO <sub>5</sub> (E%)=76,971+0,76 CQO in-0,392 CQO out |
| CQO                   | 0,52                        | 0,27           | 0,218                       | CQO(E%)=58,592+0,112 CBO <sub>5</sub> in               |
| SST                   | 0,674                       | 0,454          | 0,413                       | SST(E%)=-485,251+74,524 CBO <sub>5</sub> out           |
| PT                    | 0,816                       | 0,666          | 0,615                       | PT(E%)=-48,202+0,141 CQO in+9,670 NT out               |
| N-NO <sub>2</sub>     | 0,765                       | 0,586          | 0,556                       | N-NO <sub>2</sub> (E%)=-4,039+18,379 NT out            |
| N-NH <sub>4</sub>     | Não se obtiveram resultados |                |                             |                                                        |

Verifica-se que as variáveis que melhor traduzem a Eficiência de Remoção do  $\text{CBO}_5$  são o CQO in e CQO out. Esta relação está de acordo com o que se encontra descrito na literatura, e faz sentido uma vez os dois tipos de parâmetros apresentam uma grande relação entre si <sup>[13]</sup>. Para a Eficiência de Remoção do CQO observa-se a situação inversa a variável que melhor a caracteriza é o  $\text{CBO}_5$  in. Neste caso, o  $R_s^2$  é baixo (0,218) provavelmente devido à grande variação dos dados, em função das variações da composição do esgoto à entrada.

No que diz respeito à Eficiência de Remoção dos SST, a variável que descreve a sua evolução é o  $\text{CBO}_5$  out. A relação encontrada entre estas duas variáveis está de acordo com a literatura, uma vez que ambas estão relacionadas com a carga orgânica existente na ETAR <sup>[2, 3, 4, 13]</sup>, que se apresenta frequentemente sob forma particulada.

A Eficiência de Remoção do PT é dependente da concentração do CQO in e do NT out. Uma possível explicação para esta relação é o facto de o PT estar ligado aos flocos do licor misto e grande parte da matéria oxidável se apresentar sob uma forma particulada e rica em fósforo. Quanto à Eficiência de Remoção de  $\text{N-NO}_2$ , esta depende da concentração de NT out, uma vez que o NT engloba todas as variáveis azotadas, inclusive o  $\text{N-NO}_2$ .

Por fim, não foi possível encontrar um modelo matemático de Regressão Linear Múltipla para a Eficiência de Remoção de  $\text{N-NH}_4$ . O curto tempo de amostragem, a grande amplitude de variação dos dados em função de flutuações aleatórias da composição das águas residuais e uma Eficiência de Remoção muito baixa (cerca de 2%) são possíveis razões para este facto.

Em suma, as variáveis que melhor descrevem a qualidade do tratamento da ETAR são o CQO in, CQO out,  $\text{CBO}_5$  in,  $\text{CBO}_5$  out e NT out, ou seja, a carga orgânica existente na ETAR é um indicador fulcral na monitorização da qualidade do tratamento da ETAR, quer em termos da proporção que é biologicamente degradável, quer em termos a respectiva riqueza em azoto.

## 4. Conclusões finais

De um modo geral, a ETAR de Valongo, Campo e Sobrado revelou ter uma boa Eficiência de Remoção de carga orgânica (SST (80%), CQO (81%) e CBO<sub>5</sub> (88%)). Contudo, demonstrou ter sérios problemas na remoção de azoto, quer sob a forma de compostos reduzidos, quer sob a forma de compostos oxidados, sendo de destacar a muito baixa Eficiência de Remoção de N-NH<sub>4</sub> (2,32%).

Vários factores parecem influenciar esta eficiência, entre os quais o baixo THR, que não permite um contacto suficiente entre o esgoto e a comunidade microbiana que procederá à sua degradação; o baixo teor de Oxigénio Dissolvido, uma vez que todos os processos de degradação que permitem elevadas eficiências de remoção de azoto são oxidações; e a elevada Recirculação de Lamas Secundárias, que cria instabilidade na comunidade microbiana existente, não permitindo que mesma atinja níveis óptimos de densidade e composição específica <sup>[2,3,4,13]</sup>.

Através da análise dos dados, conclui-se que as variáveis físico-químicas que demonstraram ser mais relevantes para caracterizar o funcionamento da ETAR são: CBO<sub>5</sub>, CQO, NT, SST, PT e N-NH<sub>4</sub> à entrada do tanque biológico e CBO<sub>5</sub>, CQO, NT, SST, PT à saída. Em relação aos parâmetros biológicos, os quatro principais grupos de microrganismos são os Ciliados Móveis de Fundo, Ciliados Sésseis, Ciliados Nadadores e Flagelados, tendo sido notória a variação da abundância relativa de cada grupo em função do habitat e das características do esgoto. Por último, os parâmetros operacionais que melhor traduzem o funcionamento do tratamento são o IBL, THR, OD, SST (Tanque) e Recirculação de Lamas Secundárias.

De uma forma geral, os resultados obtidos pelos diferentes métodos (Análise de Componentes Principais, Análise de Cluster e Correlação de Pearson) são coincidentes, reforçando a plausibilidade da interpretação que foi feita ao longo desta dissertação, uma vez que permitem chegar às mesmas interpretações e conclusões partindo de abordagens conceptuais independentes entre si.

O modelo matemático mais simples que permitiu descrever o tratamento da ETAR foi um modelo de Regressão Linear Múltipla recorrendo ao método Stepwise. Com este método foi possível obter equações matemáticas para todas as Eficiências de Remoção em estudo, com a excepção da Eficiência de Remoção de N-NH<sub>4</sub>.

Apesar de ter sido possível cumprir integralmente todos os objectivos propostos neste trabalho, é de salientar o curto espaço de tempo em que decorreu a amostragem, pelo que, para obter um conjunto de dados mais realista era necessário, no mínimo, recolher amostras durante um ano para abranger todas as estações do ano. Isto permitiria colmatar dois problemas que não foi possível resolver durante o presente trabalho. Por um lado, a flutuação normal da composição do esgoto que chega à ETAR faz com que os dados obtidos apresentem uma grande variabilidade intrínseca, pelo que, para detectar tendências e relações entre parâmetros, e tentar caracterizar os processos em curso na ETAR, se torna necessário possuir um conjunto muito alargado de dados que permita aos métodos estatísticos detectar as referidas relações de forma significativa e com margens de erro aceitáveis. Por outro lado, a composição do esgoto apresenta igualmente uma flutuação sazonal, relacionada, por exemplo, com variações na precipitação e na temperatura ambiente, pelo que, para obter modelos de aplicação mais generalizada, seria necessário recolher dados durante pelo menos um ano.

## 5. Bibliografia

1. Aguado D., Rosen C. (2007) - Multivariate statistical monitoring of continuous wastewater treatment plants, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* (em publicação).
2. Canler J., Perret J., Duchène P., Cotteux E. (1999) - Aide au diagnostic des stations d'épuration par l'observation microscopique des boues activées, Cemagref Editions.
3. Cerceda M., Serrano S., Guinea A. (1996) – A comparative study of ciliated protozoa communities in activated-sludge plants, *FEMS Microbiology Ecology* 21, 267-276.
4. Cerceda M., Zamora J., Pérez-Uz B., Guinea A. (2002) – Ciliate communities of rotating biological contactor biofilms: a multivariate approach, *System and Applied Microbiology* 25, 301-313.
5. Chen S., Xu M., Cao H., Zhu J., Zhou K., Xu J., Yang X., Gan Y., Liu W., Zhai J., Shao Y., (2004) – The activated-sludge fauna and performance of five sewage treatment plants in Beijing, China, *European Journal of Protistology* 40, 147-152.
6. Eaton AD., Clesceri L. S., Greenberg AE. (1995) - Standard Methods – for the examination of water and wastewater, APHA AWWA WEF, 19<sup>th</sup> Edition.
7. Esteban G., Téllez C., Bautista LM., (1991) – Dynamics of Ciliated Protozoa Communities in Activated-Sludge Process, *Water Research* Vol.25, Nº8, 967-972.
8. Lee S., Basu S., Tyler CW., Wei IW. (2004) – Ciliate populations as bio-indicators at Deer Island Treatment Plant, *Advances in Environmental Research* 8, 371-378.
9. Liu J., Yang M., Qi R., An W., Zhou J. (em publicação) – Comparative study of protozoan communities in full-scale MWTPs in Beijing related to treatment processes, *Water Research*.
10. Madoni, P (1994) – A sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge based on the fauna analysis, *Water Research* Vol.28 67-75.
11. Madoni P., Davoli D., Cavagnoli G., Cucchi A., Pedroni M., Rossi F. (2000) – Microfauna and filamentous microflora in biological filters for tap water production, *Water Research* Vol.34, 3561-3572.
12. Maroco J. (2007) – Análise Estatística com utilização do SPSS, Edições Sílabo, 3ª Edição.
13. Metcalf & Eddy (2003) – Wastewater Engineering – Treatment and Reuse, Fourth Edition, McGrawHill.
14. Montgomery D. (1997) – Design and Analysis of Experiments, John Wiley & Sons, Inc., Fourth Edition, Arizona State University.
15. Nicolau A., Dias N., Mota M., Lima N. (2001) – Trends in the use of protozoa in the assessment of wastewater treatment, *Res. Microbiol.* 152, 621630.
16. Ramette A. (2007) – Multivariate analyses in microbial ecology, *FEMS Microbiol Ecol* Vol.62, 142-160.
17. Salvadó H., Garcia M. P., Amigó JM. (1995) – Capability of ciliated protozoa as indicators of effluent quality in activated sludge plants, *Water Research* Vol.29, Nº4 10411050.
18. Vales, M. (2007) – Estudo Preliminar da fauna de Protozoários Ciliados existente no tanque biológico da ETAR de Valongo, Campo e Sobrado e a sua relação com o funcionamento do tratamento secundário,

Relatório de Estágio da Licenciatura em Ciências e Tecnologia do Ambiente, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

19. Zhoun K., Xu M., Dai J., Cao H., Lee S., Basu S., Tyler CW., Wei IW. (2006) – The microfauna communities and operational monitoring of an activated sludge plant in China, *European Journal of Protistology* 42, 291-295.

# Anexos

Anexo 1 – Parâmetros Físico-Químicos à entrada do tanque

Tabela 1.1. Matriz de correlação entre os parâmetros físico-químicos à entrada tanque (assinalam-se, a vermelho, as correlações com nível de significância inferior a 0.05)

| Parâmetros           | Temp. in | pH in  | CBO <sub>5</sub> in | SST in | N-NO <sub>2</sub> in | N <sup>4</sup> | N- <sup>4</sup> in | Alcalinidade | de     |
|----------------------|----------|--------|---------------------|--------|----------------------|----------------|--------------------|--------------|--------|
| Temp. in             | 1,000    | 0,349  | 0,189               | 0,595  | 0,310                | 0,025          | -0,288             | 0,742        | 0,600  |
| pH in                | 0,349    | 1,000  | -0,192              | 0,113  | -0,154               | -0,837         | 0,309              | 0,304        | -0,056 |
| CBO <sub>5</sub> in  | 0,189    | -0,192 | 1,000               | 0,672  | 0,115                | 0,155          | -0,108             | 0,483        | 0,690  |
| CQO in               | 0,595    | 0,113  | 0,672               | 1,000  | 0,156                | 0,074          | -0,355             | 0,926        | 0,932  |
| SST in               | 0,430    | 0,097  | 0,397               | 0,511  | 0,161                | -0,039         | -0,159             | 0,474        | 0,551  |
| N-NO <sub>2</sub> in | 0,310    | -0,154 | 0,115               | 0,156  | 1,000                | 0,421          | -0,340             | 0,179        | 0,239  |
| NT in                | 0,025    | -0,837 | 0,155               | 0,074  | 0,421                | 1,000          | -0,471             | 0,004        | 0,297  |
| N-NH <sub>4</sub> in | 0,027    | -0,404 | 0,643               | 0,258  | 0,454                | 1,000          | -0,126             | 0,109        | 0,480  |
| N-NO <sub>3</sub> in | -0,288   | 0,309  | -0,108              | -0,355 | -0,340               | -0,471         | 1,000              | -0,334       | -0,447 |
| PT in                | 0,742    | 0,304  | 0,483               | 0,926  | 0,179                | 0,004          | -0,334             | 1,000        | 0,849  |
| Alcalinidade in      | 0,600    | -0,056 | 0,690               | 0,932  | 0,239                | 0,297          | -0,447             | 0,849        | 1,000  |

Tabela 1.2 - Resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à entrada do tanque (sem Temperatura, Alcalinidade, pH, Nitritos, Nitratos e Fósforo Total)

| Factor | Valor Próprio | Variância (%) | Variância Cumulada (%) |
|--------|---------------|---------------|------------------------|
| 1      | 2,46          | 49,10         | 49,10                  |
| 2      | 1,28          | 25,66         | 74,76                  |

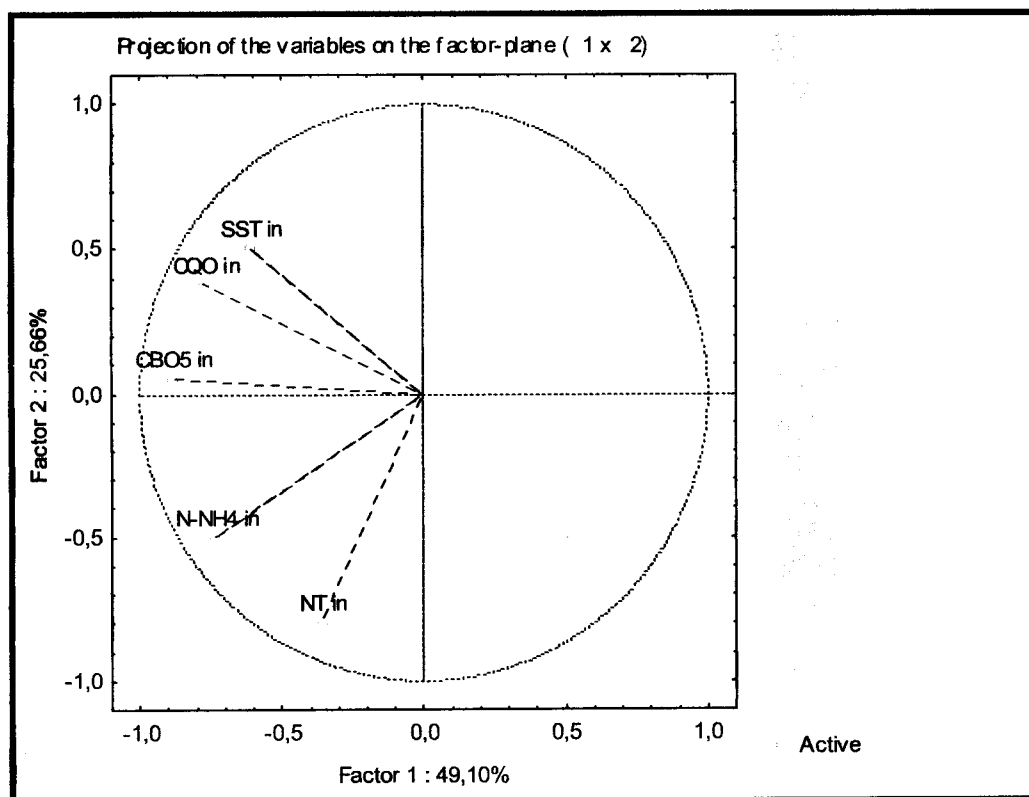


Figura 1.1 – Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à entrada do tanque (sem Temperatura, Alcalinidade, pH, Nitritos, Nitratos e Fósforo Total)

Anexo 2 – Parâmetros Físico-Químicos à saída do tanque

Tabela 2.1 - Matriz de correlação entre os parâmetros físico-químicos à saída do tanque (assinalam-se, a vermelho, as correlações com nível de significância inferior a 0.05)

| Parâmetros            | Temp. out | pH out | CBO <sub>5</sub> out | CQO out | SST out | N-N <sub>ox</sub> out | NT out | N-NH <sub>4</sub> out | N-NO <sub>3</sub> out | PT out | Alcalinidade out |
|-----------------------|-----------|--------|----------------------|---------|---------|-----------------------|--------|-----------------------|-----------------------|--------|------------------|
| Temp. out             | 1,000     | 0,585  | 0,335                | -0,190  | 0,312   | -0,344                | 0,359  | 0,288                 | 0,252                 | 0,187  | 0,460            |
| pH out                | 0,585     | 1,000  | 0,093                | -0,144  | -0,182  | -0,084                | 0,317  | 0,295                 | -0,071                | -0,340 | 0,353            |
| CBO <sub>5</sub> out  | 0,335     | 0,093  | 1,000                | 0,283   | 0,379   | -0,161                | 0,219  | 0,459                 | 0,286                 | -0,282 | 0,186            |
| CQO out               | -0,190    | -0,144 | 0,283                | 1,000   | 0,221   | 0,111                 | 0,190  | 0,022                 | 0,203                 | -0,067 | -0,029           |
| SST out               | 0,312     | -0,182 | 0,379                | 0,221   | 1,000   | -0,052                | -0,289 | -0,314                | 0,360                 | -0,070 | -0,363           |
| N-NO <sub>2</sub> out | -0,344    | -0,084 | -0,161               | 0,111   | -0,052  | 1,000                 | -0,327 | -0,680                | 0,065                 | -0,217 | -0,558           |
| NT out                | 0,359     | 0,317  | 0,219                | 0,190   | -0,289  | -0,327                | 1,000  | 0,691                 | 0,013                 | 0,085  | 0,879            |
| N-NH <sub>4</sub> out | 0,288     | 0,295  | 0,459                | 0,022   | -0,314  | -0,680                | 0,691  | 1,000                 | -0,153                | -0,065 | 0,740            |
| N-NO <sub>3</sub> out | 0,252     | -0,071 | 0,286                | 0,203   | 0,360   | 0,065                 | 0,013  | -0,153                | 1,000                 | 0,343  | -0,007           |
| PT out                | 0,187     | -0,340 | -0,282               | -0,067  | -0,070  | -0,217                | 0,085  | -0,065                | 0,343                 | 1,000  | 0,232            |
| Alcalinidade out      | 0,460     | 0,353  | 0,186                | -0,029  | -0,363  | -0,558                | 0,879  | 0,740                 | -0,007                | 0,232  | 1,000            |

Tabela 2.2 - Resultados da análise de ACP aos parâmetros físico-químicos à saída do tanque (sem a Temperatura)

| Facto | Valor Próprio | Variação (%) | Variação Cumulativa (%) |
|-------|---------------|--------------|-------------------------|
| 1     | 3,31          | 33,14        | 33,14                   |
| 2     | 1,90          | 19,02        | 52,16                   |

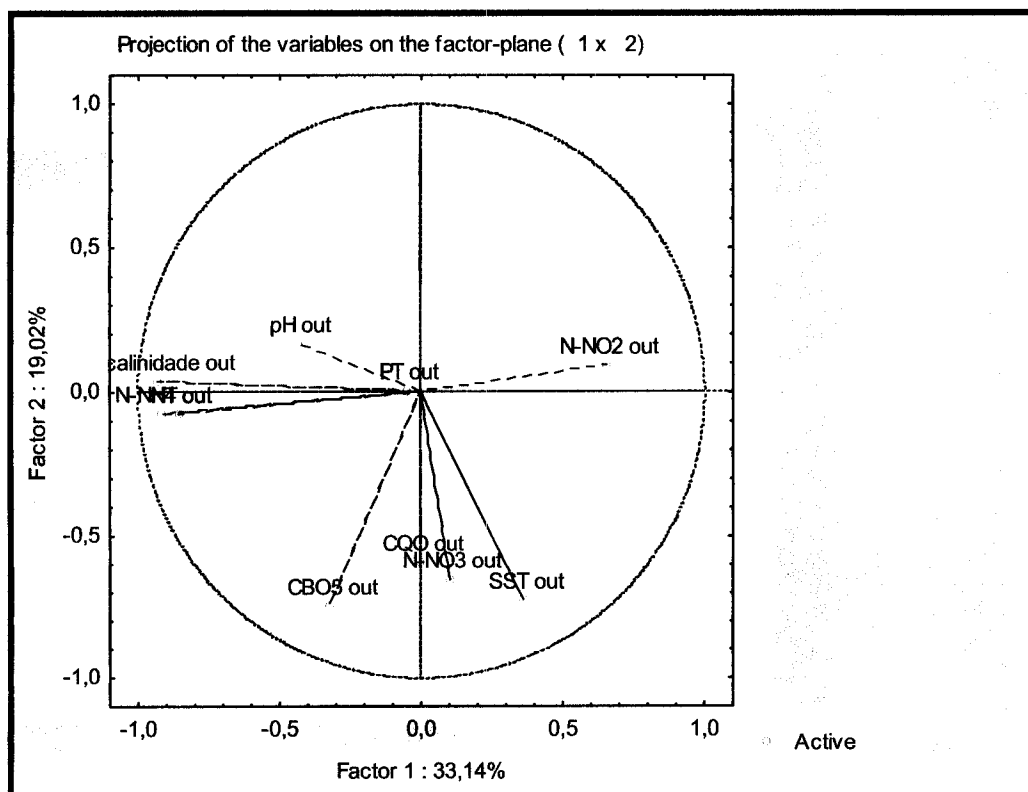


Figura 2.1 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à saída do tanque (sem a Temperatura)

Tabela 2.3 - Resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à saída do tanque (sem a Temperatura, Fósforo Total e Alcalinidade)

| Factor | Valor Próprio | Variância (%) | Variância Cumulativa (%) |
|--------|---------------|---------------|--------------------------|
| 1      | 2,51          | 31,37         | 31,37                    |
| 2      | 1,90          | 23,74         | 55,10                    |

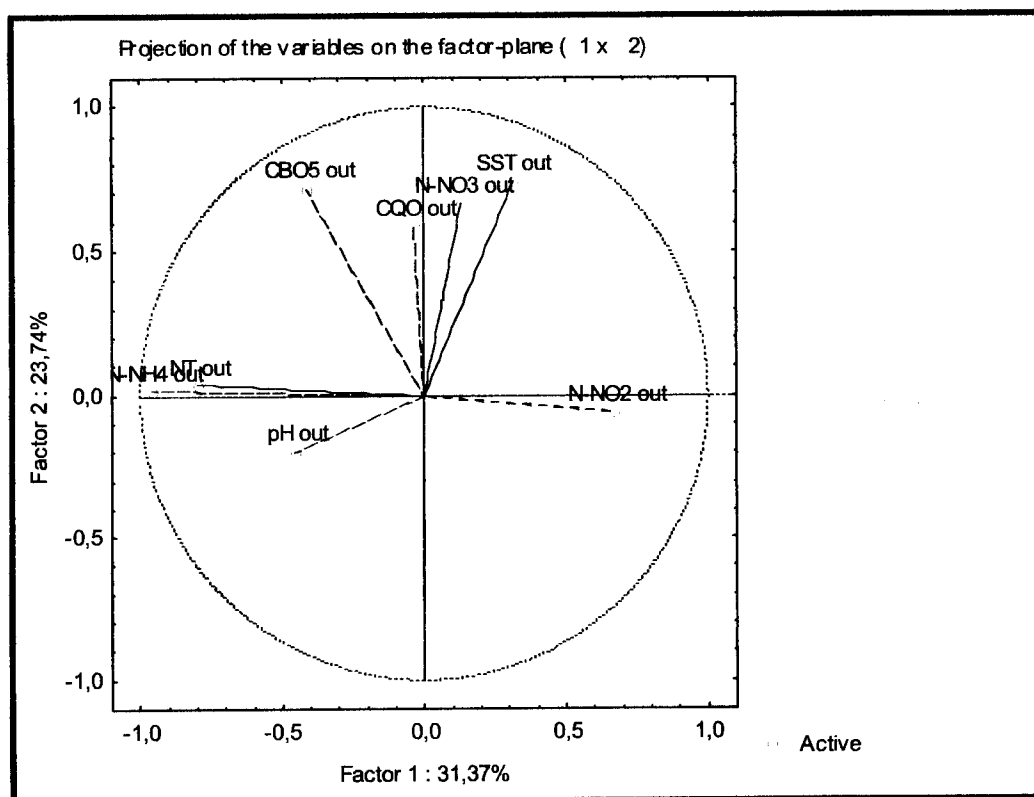


Figura 2.2 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à saída do tanque (sem a Temperatura, Fósforo Total e Alcalinidade)

Tabela 2.4 - Resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à saída do tanque (sem a Temperatura, Fósforo Total, Alcalinidade e Nitritos)

| Factor | Valor Próprio | Variancia (%) | Variancia Cumulativa (%) |
|--------|---------------|---------------|--------------------------|
| 1      | 2,20          | 31,43         | 31,43                    |
| 2      | 1,89          | 27,07         | 58,50                    |

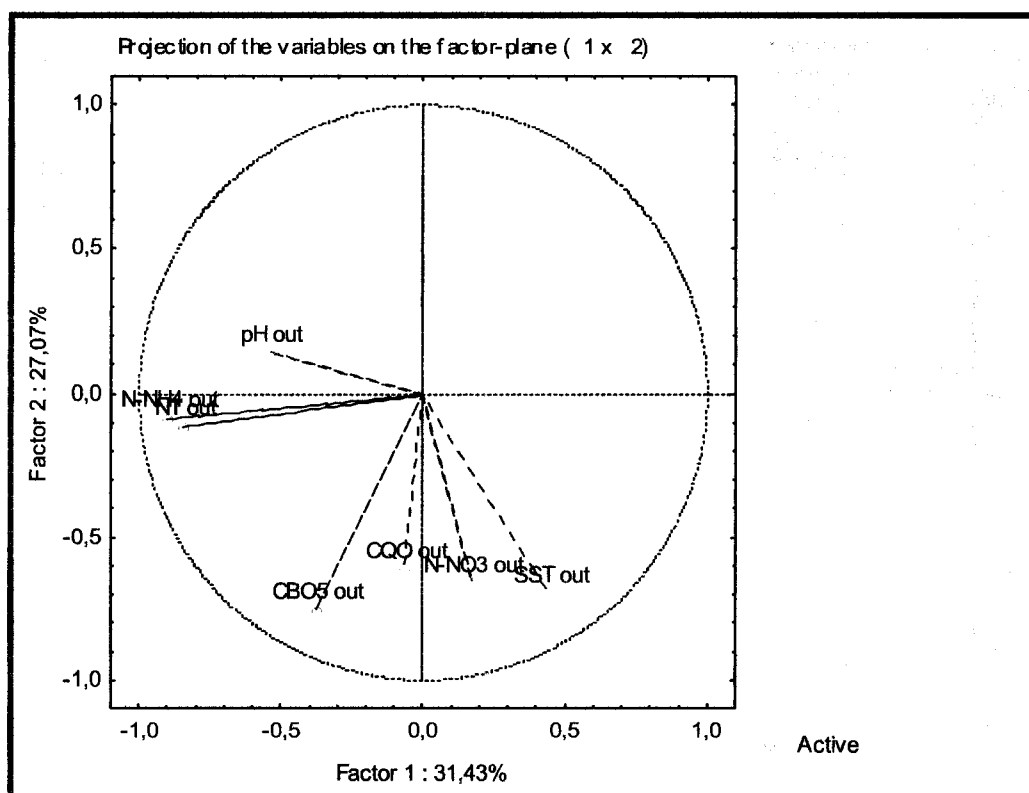


Figura 2.3 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à saída do tanque (sem a Temperatura, Fósforo Total, Alcalinidade e Nitritos)

Tabela 2.5 - Resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à saída do tanque (sem a Temperatura, Fósforo Total, Alcalinidade, Nitritos e Nitratos)

| Factor | Valor Próprio | Variação (%) | Variação Cumulativa (%) |
|--------|---------------|--------------|-------------------------|
| 1      | 2,19          | 36,50        | 36,50                   |
| 2      | 1,62          | 27,00        | 63,50                   |

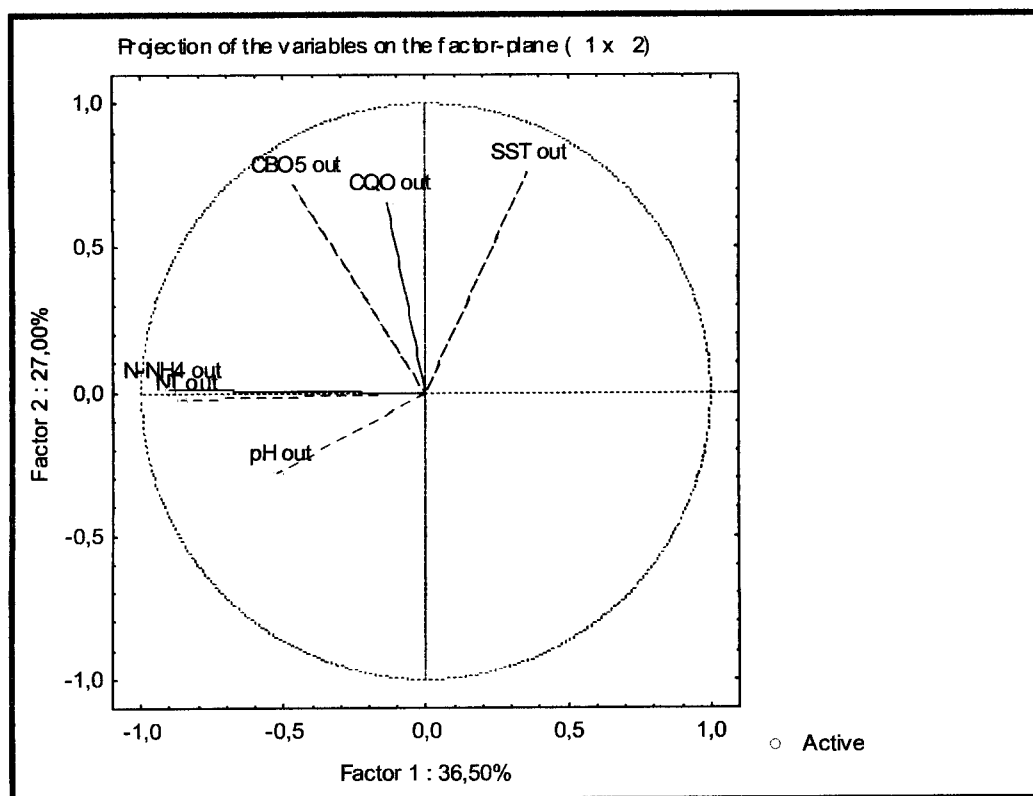


Figura 2.4 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à saída do tanque (sem a Temperatura, Fósforo Total, Alcalinidade, Nitritos e Nitratos)

Tabela 2.6 - Resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à saída do tanque (sem a Temperatura, Fósforo Total, pH, Nitritos e Nitratos)

| Fator | Valor Próprio | Variação (%) | Variação Cumulativa (%) |
|-------|---------------|--------------|-------------------------|
| 1     | 2,80          | 46,73        | 46,73                   |
| 2     | 1,61          | 26,87        | 73,60                   |

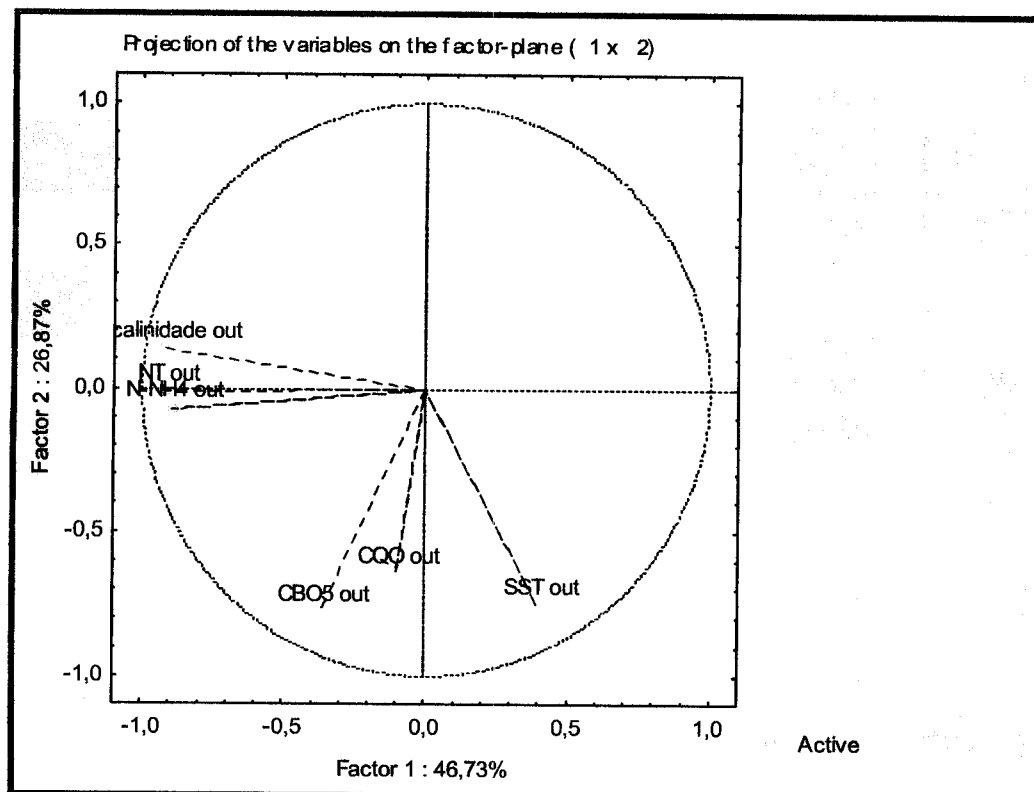


Figura 2.5 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à saída do tanque (sem a Temperatura, Fósforo Total, pH, Nitritos e Nitratos)

Anexo 3 – Parâmetros biológicos

Tabela 3.1 - Matriz de correlação das densidades dos microrganismos encontrados (assinalam-se, a vermelho, as correlações com nível de significância inferior a 0,05)

| Microorganismos          | Ciliados móveis de fundo | Ciliados sésseis | Vorticella microstoma | Vorticella convallaria | Vorticella campanula | Ciliados nadadores | Flagelados | Metazoários |
|--------------------------|--------------------------|------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|--------------------|------------|-------------|
| Ciliados móveis de fundo | 1,00                     | 0,23             | 0,47                  | -0,36                  | -0,40                | -0,31              | -0,45      | -0,07       |
| Ciliados sésseis         | 0,23                     | 1,00             | 0,83                  | 0,42                   | 0,26                 | -0,26              | -0,70      | -0,11       |
| Vorticella microstoma    | 0,47                     | 0,83             | 1,00                  | -0,07                  | -0,11                | -0,39              | -0,71      | -0,14       |
| Vorticella convallaria   | -0,36                    | 0,42             | -0,07                 | 1,00                   | 0,37                 | -0,00              | -0,14      | -0,10       |
| Vorticella campanula     | -0,40                    | 0,26             | -0,11                 | 0,37                   | 1,00                 | 0,62               | 0,13       | -0,31       |
| Ciliados nadadores       | -0,31                    | -0,26            | -0,39                 | -0,00                  | 0,62                 | 1,00               | 0,51       | -0,39       |
| Flagelados               | -0,45                    | -0,70            | -0,71                 | -0,14                  | 0,13                 | 0,51               | 1,00       | -0,05       |
| Metazoários              | -0,07                    | -0,11            | -0,14                 | -0,10                  | -0,31                | -0,39              | -0,05      | 1,00        |

Anexo 4 – Eficiências de remoção

Tabela 4.1 - Matriz de correlação entre as eficiências de remoção (assinalam-se, a vermelho, as correlações com nível de significância inferior a 0,05)

|                         | NT (E,%) | N-NH <sub>4</sub> (E,%) | NO <sub>2</sub> (E,%) | NO <sub>3</sub> (E,%) | Alcalinidade (E,%) | PT (E,%) | SST (E,%) | CGO (E,%) | CBO <sub>5</sub> (E,%) | CGO (E,%) | CBO <sub>5</sub> (E,%) |
|-------------------------|----------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|----------|-----------|-----------|------------------------|-----------|------------------------|
| NT (E,%)                | 1,000    | 0,154                   | -0,392                | -0,024                | -0,159             | -0,117   | 0,109     | -0,545    | -0,072                 |           |                        |
| N-NH <sub>4</sub> (E,%) | 0,154    | 1,000                   | -0,715                | 0,194                 | 0,459              | 0,189    | -0,100    | 0,056     | 0,357                  |           |                        |
| NO <sub>2</sub> (E,%)   | -0,392   | -0,715                  | 1,000                 | -0,151                | -0,351             | -0,156   | -0,193    | -0,001    | -0,189                 |           |                        |
| NO <sub>3</sub> (E,%)   | -0,024   | 0,194                   | -0,151                | 1,000                 | -0,156             | 0,163    | 0,044     | -0,103    | 0,082                  |           |                        |
| Alcalinidade (E,%)      | -0,159   | 0,459                   | -0,351                | -0,156                | 1,000              | 0,618    | 0,168     | 0,710     | 0,053                  |           |                        |
| PT (E,%)                | -0,117   | 0,189                   | -0,156                | 0,163                 | 0,618              | 1,000    | 0,094     | 0,442     | -0,214                 |           |                        |
| SST (E,%)               | 0,109    | -0,100                  | -0,193                | 0,044                 | 0,168              | 0,094    | 1,000     | 0,453     | 0,348                  |           |                        |
| CGO (E,%)               | -0,545   | 0,056                   | -0,001                | -0,103                | 0,710              | 0,442    | 0,453     | 1,000     | 0,182                  |           |                        |
| CBO <sub>5</sub> (E,%)  | -0,072   | 0,357                   | -0,189                | 0,082                 | 0,053              | -0,214   | 0,348     | 0,182     | 1,000                  |           |                        |

Tabela 4.2 - Resultados da análise ACP às eficiências de remoção do tratamento (sem E(%)) de remoção da alcalinidade e do Fósforo Total)

| Factor | Valor Proprio | Variancia (%) | Variancia Cumulativa (%) |
|--------|---------------|---------------|--------------------------|
| 1      | 2,09          | 29,89         | 29,89                    |
| 2      | 1,79          | 25,63         | 55,52                    |

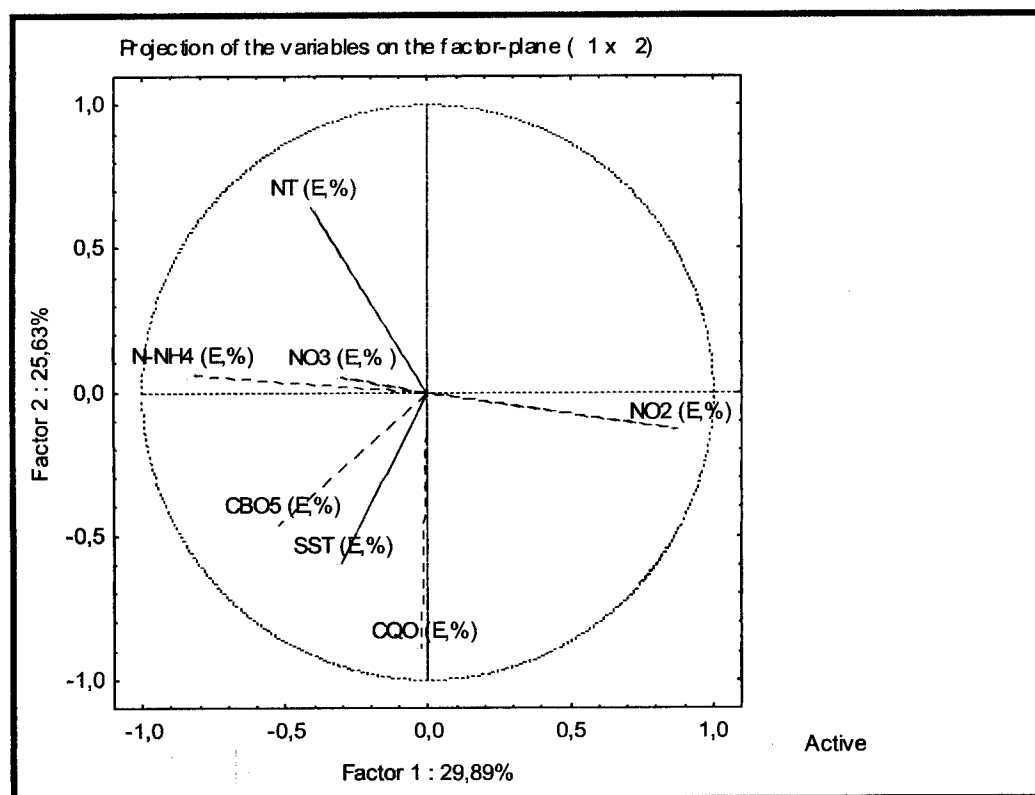


Figura 4.1 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP às eficiências de remoção do tratamento (sem E(%)) de remoção da alcalinidade e do Fósforo Total)

Tabela 4.3 - Resultados da análise ACP às eficiências de remoção do tratamento (sem E(%)) de remoção da alcalinidade, do Fósforo Total, do Nitrito e do Nitrato)

| Factor | Valor Próprio | Variancia (%) | Variancia Cumulativa (%) |
|--------|---------------|---------------|--------------------------|
| 1      | 1,80          | 36,09         | 36,09                    |
| 2      | 1,38          | 27,65         | 63,74                    |

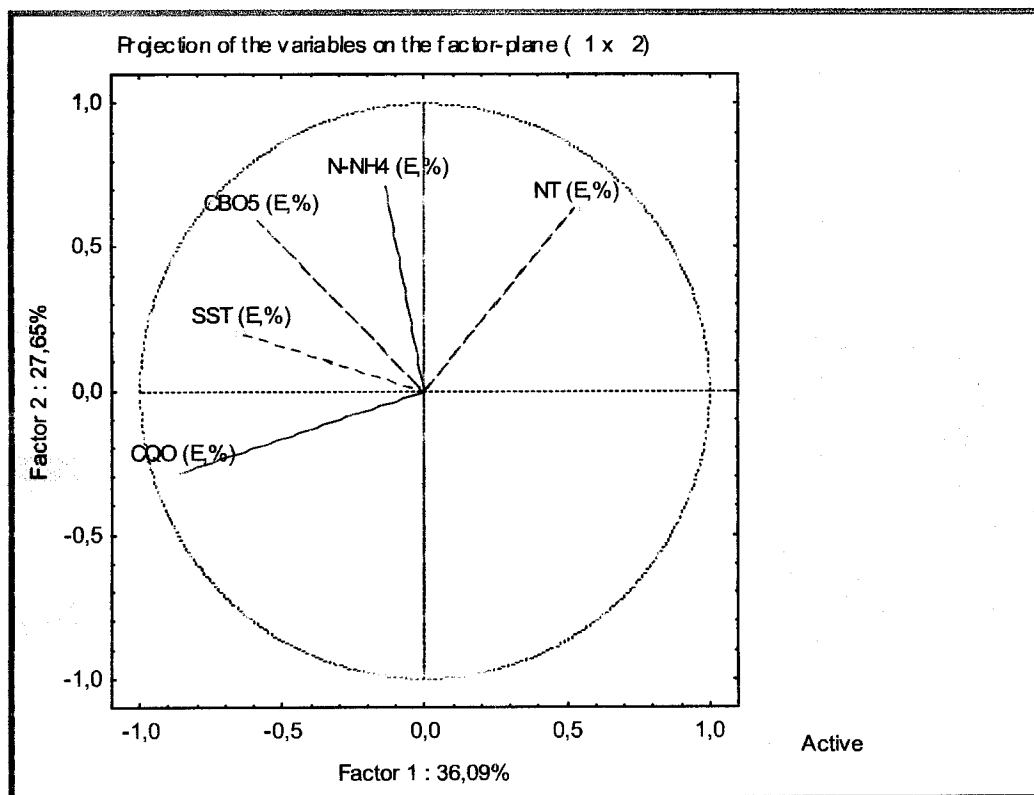


Figura 4.2 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP às eficiências de remoção do tratamento (sem E(%)) de remoção da alcalinidade, do Fósforo Total, do Nitrito e do Nitrato)

Anexo 5 – Parâmetros operacionais

Tabela 5.1 - Matriz de correlação entre os parâmetros operacionais (assinalam-se, a vermelho, as correlações com nível de significância inferior a 0,05)

| Parâmetros                          | IBL   | OD (Tanque) | SST (Tanque) | IM (Tanque) | Idade das lamas | F/M   | THR   | Efluente regularizado (m³) | Recirculação lamas secundárias (m³) |
|-------------------------------------|-------|-------------|--------------|-------------|-----------------|-------|-------|----------------------------|-------------------------------------|
| IBL                                 | 1,00  | -0,38       | 0,04         | 0,24        | -0,03           | 0,22  | 0,39  | -0,42                      | -0,28                               |
| OD (Tanque)                         | -0,38 | 1,00        | -0,43        | -0,01       | 0,13            | -0,10 | -0,02 | 0,06                       | 0,03                                |
| SST (Tanque)                        | 0,04  | -0,43       | 1,00         | -0,25       | 0,09            | -0,24 | -0,42 | 0,43                       | 0,32                                |
| IM (Tanque)                         | 0,24  | -0,01       | -0,25        | 1,00        | -0,42           | 0,27  | 0,39  | -0,46                      | -0,29                               |
| Idade das lamas                     | -0,03 | 0,13        | 0,09         | -0,42       | 1,00            | -0,16 | -0,10 | 0,16                       | 0,02                                |
| F/M                                 | 0,22  | -0,10       | -0,24        | 0,27        | -0,16           | 1,00  | 0,05  | -0,04                      | -0,13                               |
| THR                                 | 0,39  | -0,02       | -0,42        | 0,39        | -0,10           | 0,05  | 1,00  | -0,97                      | -0,95                               |
| Efluente regularizado (m³)          | -0,42 | 0,06        | 0,43         | -0,46       | 0,16            | -0,04 | -0,97 | 1,00                       | 0,85                                |
| Recirculação lamas secundárias (m³) | -0,28 | 0,03        | 0,32         | -0,29       | 0,02            | -0,13 | -0,95 | 0,85                       | 1,00                                |

Anexo 6 – Parâmetros Biológicos vs Parâmetros Físico-químicos à entrada do tanque

Tabela 6.1 - Matriz de correlação entre os parâmetros biológicos e parâmetros físico-químicos à entrada do tanque (assinalam-se, a vermelho, as correlações com nível de significância inferior a 0,05)

| Parâmetros           | Ciliados móveis de fundo | Ciliados sésseis | Vorticella microstoma | Vorticella convallaria | Vorticella campanula | Ciliados nadadores | Flagelados | Metazoários |
|----------------------|--------------------------|------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|--------------------|------------|-------------|
| Temp. in             | -0,04                    | -0,30            | 0,79                  | 0,00                   | 0,44                 | 0,35               | 0,41       | 0,23        |
| pH in                | -0,13                    | -0,04            | -0,12                 | 0,12                   | 0,08                 | 0,00               | -0,12      | 0,41        |
| CBO <sub>5</sub> in  | 0,22                     | -0,46            | -0,46                 | -0,12                  | -0,23                | 0,06               | 0,25       | 0,31        |
| CQO in               | -0,09                    | -0,34            | -0,58                 | 0,20                   | -0,02                | -0,03              | 0,13       | 0,47        |
| SST in               | -0,10                    | 0,01             | -0,29                 | 0,33                   | 0,19                 | 0,22               | 0,17       | 0,44        |
| N-NO <sub>2</sub> in | -0,23                    | -0,20            | -0,37                 | 0,14                   | 0,40                 | 0,05               | 0,38       | -0,04       |
| NT in                | -0,03                    | -0,01            | -0,11                 | 0,16                   | 0,09                 | 0,01               | 0,15       | -0,38       |
| N-NH <sub>4</sub> in | 0,28                     | -0,47            | -0,41                 | -0,28                  | -0,14                | -0,01              | 0,31       | 0,10        |
| N-NO <sub>3</sub> in | 0,03                     | 0,03             | 0,23                  | -0,08                  | -0,20                | -0,03              | -0,40      | 0,02        |
| PT in                | -0,21                    | -0,31            | -0,64                 | 0,40                   | 0,06                 | -0,01              | 0,12       | 0,43        |
| Alcalinidade in      | -0,03                    | -0,35            | -0,61                 | 0,24                   | -0,04                | -0,03              | 0,21       | 0,37        |

Tabela 6.2 - Resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à entrada e parâmetros biológicos

| Fator | Valor Próprio | Variação (%) | Variação acumulada (%) |
|-------|---------------|--------------|------------------------|
| 1     | 5,94          | 31,28        | 31,28                  |
| 2     | 3,03          | 15,94        | 47,21                  |

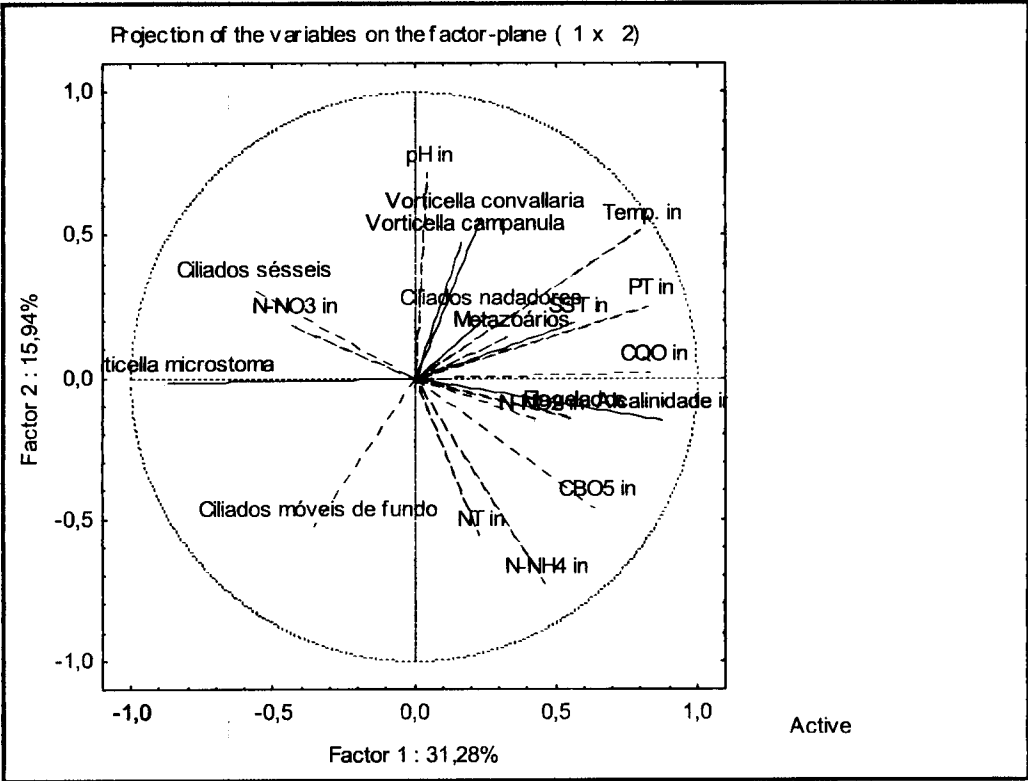


Figura 6.1 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à entrada e parâmetros biológicos do tanque

Anexo 7 - Parâmetros Biológicos vs Parâmetros Físico-químicos à saída do tanque

Tabela 7.1 – Matriz de correlação entre os parâmetros biológicos e os parâmetros físico-químicos à saída do tanque (assinalam-se, a vermelho, as correlações com nível de significância inferior a 0,05)

| Parâmetros            | Ciliados livres de água | Ciliados sensíveis | Vorticella microstoma | Vorticella convallaria | Vorticella campanula | Ciliados nadadores | Filamentosos | Metazóórtos |
|-----------------------|-------------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|--------------------|--------------|-------------|
| Temp. Out             | -0,62                   | -0,31              | -0,16                 | 0,04                   | 0,41                 | 0,36               | 0,45         | 0,24        |
| pH out                | -0,15                   | -0,11              | -0,43                 | 0,27                   | 0,21                 | 0,18               | 0,19         | 0,51        |
| CaO <sub>5</sub> out  | -0,02                   | -0,05              | -0,31                 | 0,34                   | 0,25                 | 0,17               | 0,02         | -0,26       |
| CaO out               | 0,17                    | -0,14              | -0,07                 | -0,19                  | 0,15                 | 0,20               | -0,06        | -0,45       |
| SST out               | -0,36                   | 0,03               | -0,18                 | 0,31                   | 0,53                 | 0,21               | -0,11        | -0,11       |
| N-NO <sub>2</sub> out | 0,25                    | 0,42               | 0,49                  | -0,19                  | 0,12                 | 0,04               | -0,38        | -0,12       |
| NT out                | -0,04                   | -0,06              | -0,28                 | 0,26                   | 0,10                 | -0,08              | 0,31         | -0,01       |
| N-NH <sub>4</sub> out | 0,04                    | -0,34              | -0,45                 | 0,08                   | -0,06                | -0,01              | 0,39         | -0,03       |
| N-NO <sub>3</sub> out | -0,09                   | 0,29               | 0,02                  | 0,35                   | 0,37                 | 0,10               | -0,13        | -0,14       |
| PT out                | -0,18                   | -0,20              | -0,15                 | -0,07                  | -0,16                | 0,06               | 0,13         | 0,02        |
| Alcalinidade out      | -0,09                   | -0,10              | -0,35                 | 0,44                   | -0,07                | -0,09              | 0,30         | 0,04        |

Tabela 7.2 - Resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à saída e parâmetros biológicos

| Fator | Valor Próprio | Variação (%) | Variação Cumulativa (%) |
|-------|---------------|--------------|-------------------------|
| 1     | 4,99          | 26,28        | 26,28                   |
| 2     | 3,19          | 16,81        | 43,08                   |

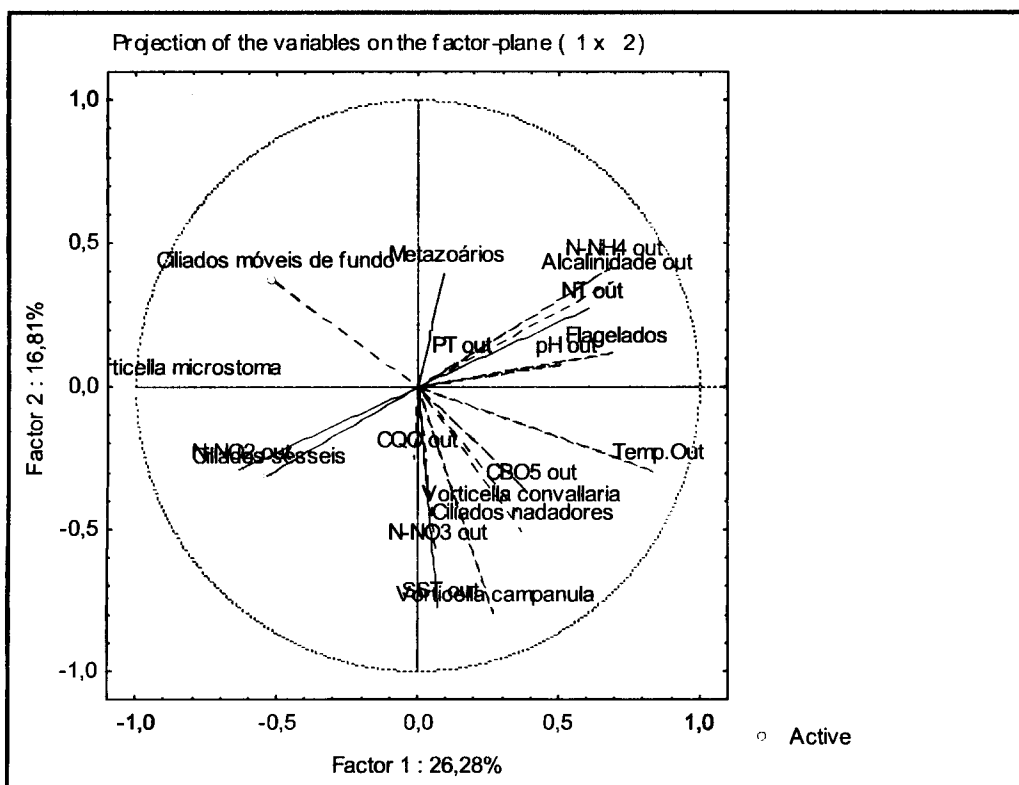


Figura 7.1 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros físico-químicos à saída e parâmetros biológicos do tanque

Anexo 8 – Parâmetros Biológicos vs Parâmetros Operacionais

Tabela 8.1 - Matriz de correlação entre os parâmetros biológicos e os parâmetros operacionais (assinalam-se, a vermelho, as correlações com nível de significância inferior a 0,05)

| Parâmetros               | IBL   | OD<br>(Tanque) | SST<br>(Tanque) | IM<br>(Tanque) | Idade das<br>lamas | MLA   | THR   | Efluente regularizado<br>(m³) | Recirculação lamas<br>secundárias (m³) |
|--------------------------|-------|----------------|-----------------|----------------|--------------------|-------|-------|-------------------------------|----------------------------------------|
| Ciliados móveis de fundo | 0,28  | -0,28          | 0,35            | -0,41          | -0,10              | 0,14  | -0,27 | 0,19                          | 0,35                                   |
| Ciliados sésseis         | 0,01  | -0,02          | -0,19           | -0,59          | 0,31               | -0,34 | -0,12 | 0,12                          | 0,21                                   |
| Vorticella microstoma    | -0,17 | -0,07          | 0,08            | -0,73          | 0,29               | -0,28 | -0,55 | 0,54                          | 0,58                                   |
| Vorticella convallaria   | 0,24  | 0,11           | -0,62           | 0,16           | 0,22               | -0,01 | 0,50  | -0,52                         | -0,39                                  |
| Vorticella campanula     | -0,05 | 0,38           | -0,17           | -0,19          | 0,02               | -0,25 | 0,28  | -0,21                         | -0,28                                  |
| Ciliados nadadores       | -0,09 | 0,31           | 0,01            | 0,14           | -0,27              | 0,02  | 0,12  | -0,12                         | -0,11                                  |
| Flagelados               | -0,43 | 0,32           | -0,14           | 0,52           | -0,20              | 0,25  | 0,17  | -0,19                         | -0,22                                  |
| Metazóórtos              | 0,15  | -0,56          | 0,11            | 0,39           | -0,37              | 0,19  | 0,11  | -0,07                         | -0,17                                  |

Tabela 8.2 - Resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e parâmetros biológicos

| Fator | Valor Próprio | Variancia (%) | Variancia acumulada (%) |
|-------|---------------|---------------|-------------------------|
| 1     | 4,97          | 29,26         | 29,26                   |
| 2     | 3,02          | 17,79         | 47,05                   |

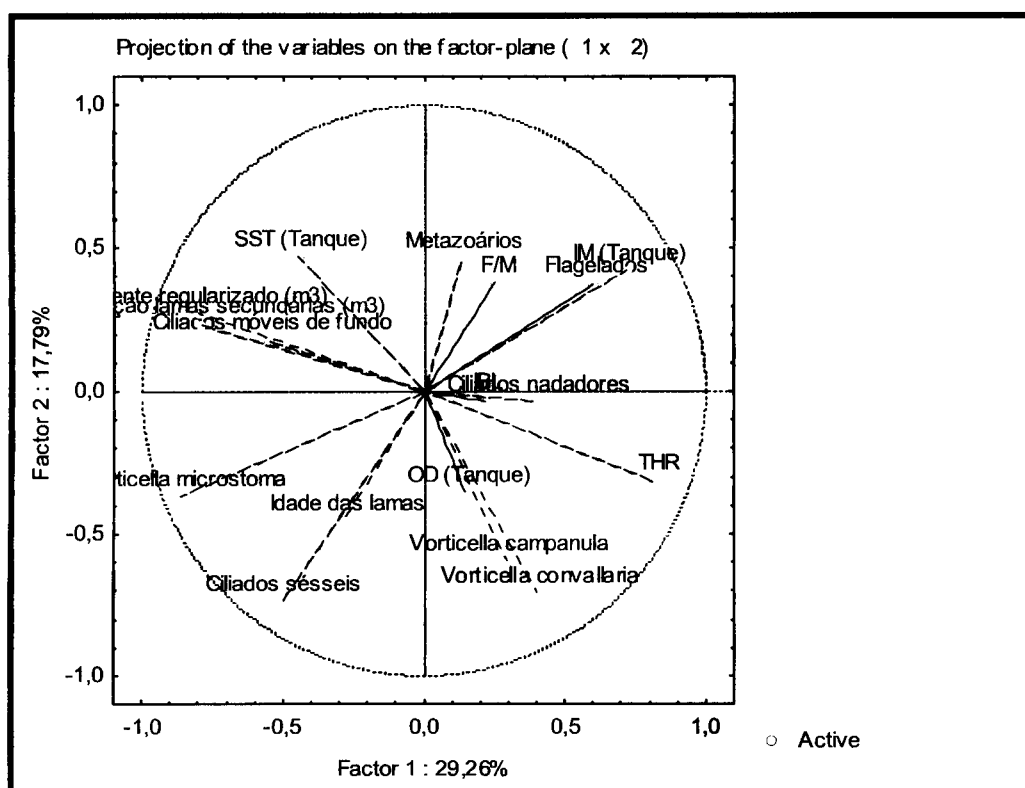


Figura 8.1 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e parâmetros biológicos do tanque

## Anexo 9 – Parâmetros Biológicos vs Eficiências de Remoção

Tabela 9.1 - Matriz de correlação entre os parâmetros biológicos e as eficiências de remoção (assinalam-se, a vermelho, as correlações com nível de significância inferior a 0,05)

| Parâmetros               | NT (E,%) | N-NH <sub>4</sub> (E,%) | NO <sub>2</sub> (E,%) | NO <sub>3</sub> (E,%) | Alcalinidade e (E,%) | PT (E,%) | SST (E,%) | CQO (E,%) | CBO <sub>5</sub> (E,%) |
|--------------------------|----------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------|-----------|-----------|------------------------|
| Ciliados móveis de fundo | 0,18     | 0,17                    | -0,31                 | 0,17                  | 0,02                 | 0,02     | 0,27      | -0,16     | 0,09                   |
| Ciliados sésseis         | 0,01     | 0,10                    | -0,39                 | 0,07                  | -0,37                | -0,14    | -0,03     | -0,19     | -0,08                  |
| Vorticella microstoma    | 0,20     | 0,27                    | -0,49                 | 0,30                  | -0,43                | -0,34    | 0,05      | -0,35     | 0,19                   |
| Vorticella convallaria   | -0,25    | -0,31                   | 0,22                  | -0,18                 | -0,15                | 0,14     | -0,17     | 0,14      | -0,39                  |
| Vorticella campanula     | -0,12    | 0,00                    | -0,04                 | -0,23                 | -0,05                | 0,07     | -0,44     | -0,22     | -0,35                  |
| Ciliados nadadores       | 0,08     | 0,03                    | -0,03                 | -0,09                 | 0,02                 | -0,11    | -0,16     | -0,23     | -0,17                  |
| Flagelados               | -0,18    | -0,27                   | 0,44                  | -0,13                 | 0,02                 | 0,02     | 0,13      | 0,06      | 0,01                   |
| Metazoários              | -0,42    | 0,13                    | 0,07                  | -0,02                 | 0,48                 | 0,43     | 0,42      | 0,79      | 0,34                   |

Tabela 9.2 - Resultados da análise ACP aos parâmetros biológicos e eficiências de remoção

| Factor | Valor Próprio | Variança (%) | Variança Cumulativa (%) |
|--------|---------------|--------------|-------------------------|
| 1      | 3,79          | 22,32        | 22,32                   |
| 2      | 3,56          | 20,93        | 43,25                   |

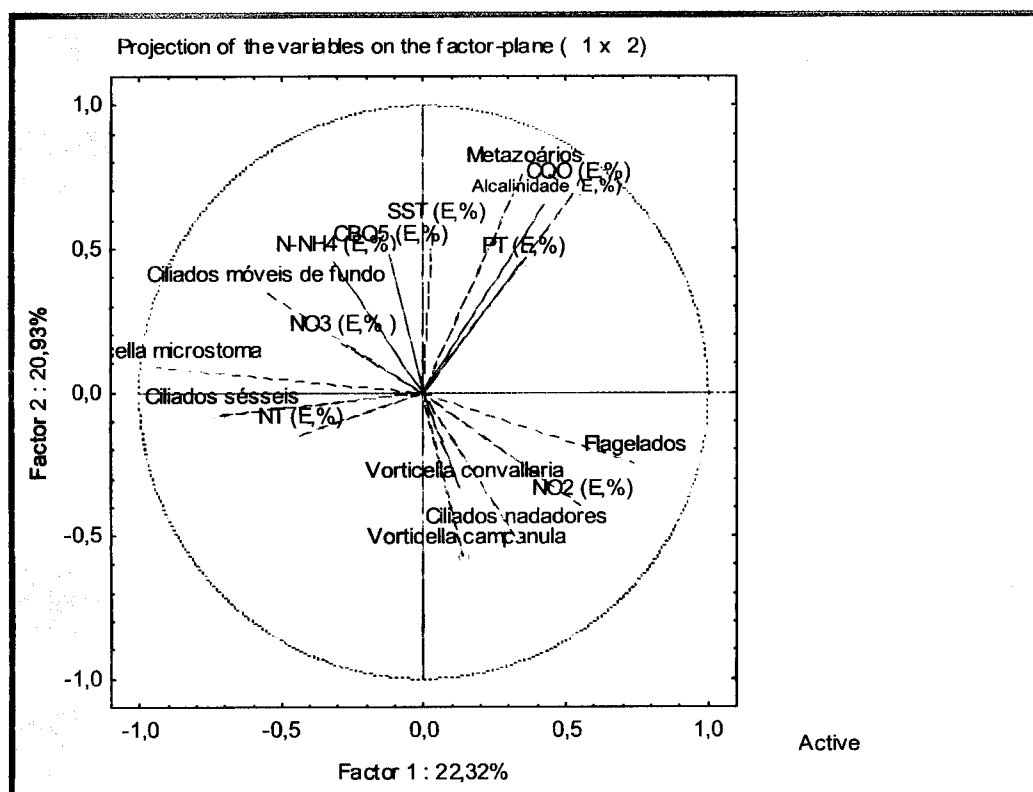


Figura 9.1 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros biológicos e eficiências de remoção

## Anexo 10 – Parâmetros Físico-químicos à entrada do tanque vs Parâmetros Operacionais

Tabela 10.1 - Matriz de correlação entre os parâmetros físico-químicos à entrada e os parâmetros operacionais (assinalam-se, a vermelho, as correlações com nível de significância inferior a 0.05)

| Parâmetros           | IL    | tanque) | SST<br>(Tanque) | (Temperatura) | Idade das<br>lamas | F/    | Fluente<br>(L/s) | Recirculado | Recirculação<br>secundária | Amas<br>(m³) |
|----------------------|-------|---------|-----------------|---------------|--------------------|-------|------------------|-------------|----------------------------|--------------|
| Temp. in             | 0,22  | -0,05   | -0,33           | 0,53          | -0,17              | 0,01  | 0,76             | -0,72       |                            | 0,76         |
| pH in                | 0,06  | -0,25   | 0,15            | 0,05          | -0,28              | -0,20 | -0,12            | 0,18        |                            | 0,08         |
| CBO <sub>5</sub> in  | 0,39  | -0,45   | 0,24            | 0,29          | -0,10              | 0,74  | 0,29             | -0,29       |                            | -0,39        |
| CQO in               | 0,64  | -0,30   | -0,08           | 0,46          | -0,01              | 0,45  | 0,66             | -0,59       |                            | -0,71        |
| SST in               | 0,33  | -0,14   | -0,23           | 0,39          | -0,25              | 0,38  | 0,35             | -0,41       |                            | -0,29        |
| N-NO <sub>2</sub> in | -0,10 | 0,36    | -0,31           | 0,09          | -0,09              | 0,22  | 0,38             | -0,31       |                            | -0,44        |
| NT In                | 0,06  | 0,29    | -0,51           | 0,06          | 0,09               | 0,25  | 0,49             | -0,52       |                            | -0,43        |
| N-NH <sub>4</sub> in | 0,22  | -0,25   | 0,10            | 0,24          | -0,33              | 0,51  | 0,22             | -0,31       |                            | -0,21        |
| N-NO <sub>3</sub> in | 0,16  | -0,31   | 0,38            | -0,08         | -0,06              | -0,03 | -0,58            | 0,53        |                            | 0,57         |
| PT in                | 0,59  | -0,16   | -0,25           | 0,54          | -0,12              | 0,33  | 0,73             | -0,66       |                            | -0,74        |
| Alcalinidade<br>in   | 0,62  | -0,32   | -0,21           | 0,49          | -0,07              | 0,49  | 0,74             | -0,73       |                            | -0,72        |

Tabela 10.2 - Resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e parâmetros físico-químicos de entrada

| Factor | Valor Proprio | Variancia (%) | Variancia Cumulativa (%) |
|--------|---------------|---------------|--------------------------|
| 1      | 7,62          | 38,08         | 38,08                    |
| 2      | 3,18          | 15,92         | 54,01                    |

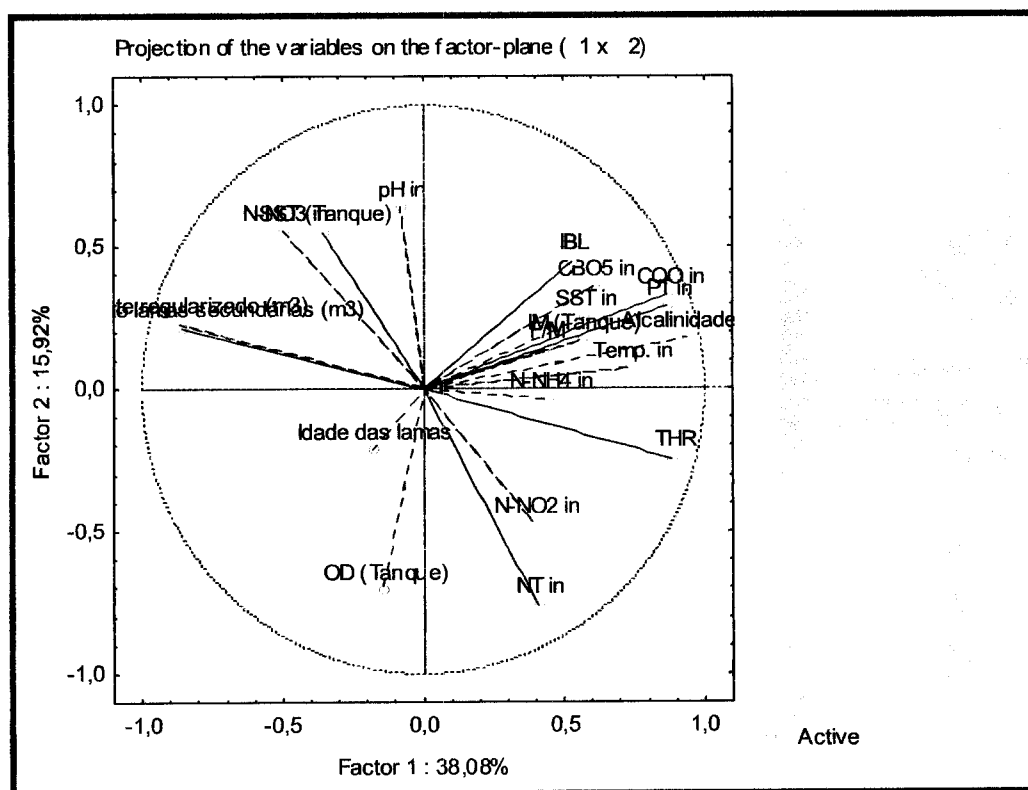


Figura 10.1 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e parâmetros físico-químicos à entrada

Anexo 11 - Parâmetros Físico-químicos à saída do tanque vs Parâmetros Operacionais

Tabela 11.1 - Matriz de correlação entre os parâmetros físico-químicos à saída e os parâmetros operacionais (assinalam-se, a vermelho, as correlações com nível de significância inferior a 0.05)

| Parâmetros            | IBL   | OD (Tanque) | SST (Tanque) | IM (Tanque) | Idade das lamas | F/M   | THR   | Efluente regularizado (m³) | Recirculação lamas secundárias (m³) |
|-----------------------|-------|-------------|--------------|-------------|-----------------|-------|-------|----------------------------|-------------------------------------|
| Temp.Out              | 0,23  | -0,07       | -0,31        | 0,57        | -0,14           | 0,04  | 0,76  | -0,74                      | -0,75                               |
| pH out                | 0,34  | -0,30       | 0,08         | 0,50        | -0,21           | 0,23  | 0,55  | -0,55                      | -0,54                               |
| CBO <sub>5</sub> out  | 0,31  | 0,12        | -0,19        | 0,24        | -0,24           | -0,29 | 0,41  | -0,57                      | -0,20                               |
| CQO out               | 0,21  | 0,36        | -0,05        | -0,07       | -0,16           | 0,01  | 0,26  | -0,23                      | -0,23                               |
| SST out               | 0,12  | 0,23        | -0,11        | -0,03       | -0,15           | -0,35 | 0,12  | -0,05                      | -0,11                               |
| N-NO <sub>2</sub> out | 0,17  | 0,03        | 0,30         | -0,48       | 0,43            | -0,13 | -0,26 | 0,28                       | 0,22                                |
| NT out                | 0,07  | -0,09       | -0,45        | 0,17        | -0,01           | 0,32  | 0,66  | -0,68                      | -0,62                               |
| N-NH <sub>4</sub> out | -0,02 | -0,10       | -0,15        | 0,35        | -0,26           | 0,14  | 0,42  | -0,53                      | -0,33                               |
| N-NO <sub>3</sub> out | 0,20  | 0,48        | -0,54        | 0,07        | -0,10           | -0,35 | 0,42  | -0,39                      | -0,28                               |
| PT out                | -0,09 | 0,03        | -0,39        | 0,02        | -0,11           | 0,10  | 0,21  | -0,12                      | -0,28                               |
| Alcalinidade out      | 0,06  | -0,15       | -0,52        | 0,31        | -0,05           | 0,36  | 0,67  | -0,72                      | -0,62                               |

Tabela 11.2 - Resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e parâmetros físico-químicos à saída

| Factor | Valor Próprio | Variância (%) | Variância Cumulativa (%) |
|--------|---------------|---------------|--------------------------|
| 1      | 6,47          | 32,33         | 32,33                    |
| 2      | 2,86          | 14,30         | 46,63                    |

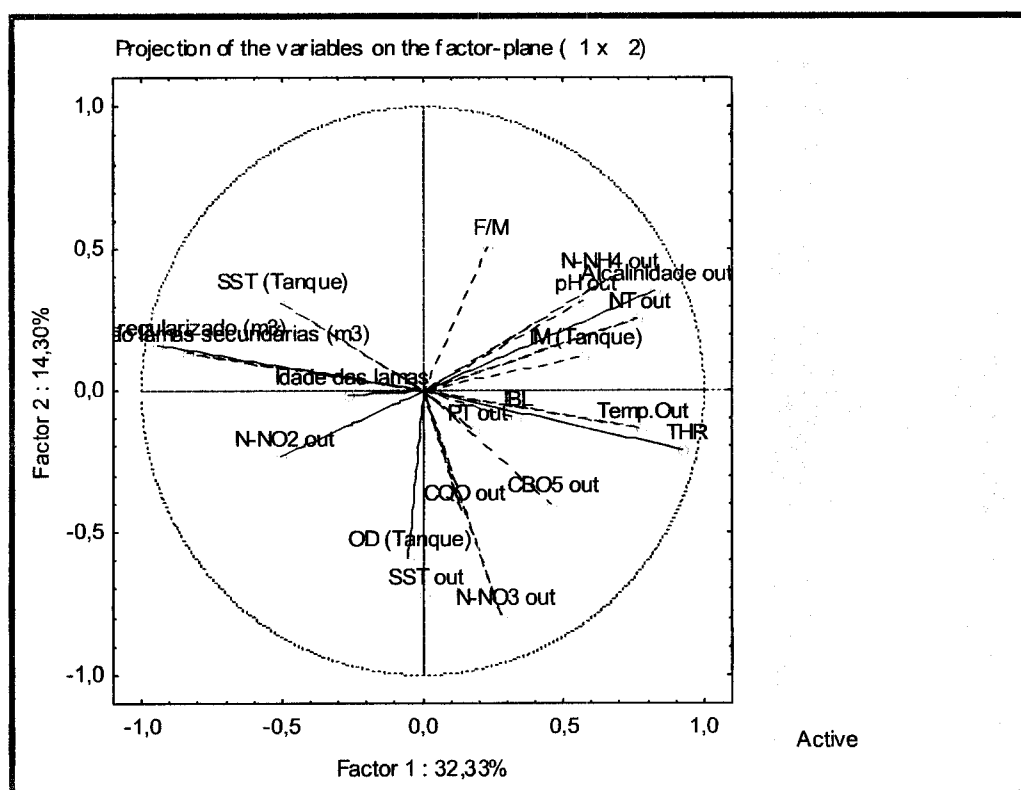


Figura 11.1 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e parâmetros físico-químicos à saída

Anexo 12 - Parâmetros Operacionais vs Eficiências de Remoção

Tabela 12.1 - Matriz de correlação entre os parâmetros operacionais e as eficiências de remoção (assinalam-se, a vermelho, as correlações com nível de significância inferior a 0.05)

| Parâmetros              | IBL   | OD (Tanque) | SST (Tanque) | IM (Tanque) | Índice das lamelas | F/M  | HR    | Efluente regularizado (m³) | Recirculação lamelas secundárias (m³) |
|-------------------------|-------|-------------|--------------|-------------|--------------------|------|-------|----------------------------|---------------------------------------|
| NT (E,%)                | 0,09  | 0,42        | -0,03        | -0,08       | 0,07               | 0,08 | -0,09 | 0,07                       | 0,12                                  |
| N-NH <sub>4</sub> (E,%) | 0,22  | -0,08       | 0,31         | -0,29       | 0,10               | 0,18 | -0,35 | 0,43                       | 0,25                                  |
| NO <sub>2</sub> (E,%)   | -0,23 | -0,01       | -0,39        | 0,42        | -0,40              | 0,11 | 0,30  | -0,33                      | -0,27                                 |
| NO <sub>3</sub> (E,%)   | -0,15 | -0,34       | 0,50         | -0,17       | 0,12               | 0,06 | -0,70 | 0,59                       | 0,69                                  |
| Alcalinidade (E,%)      | 0,65  | -0,29       | 0,29         | 0,36        | -0,08              | 0,22 | 0,21  | -0,18                      | -0,23                                 |
| PT (E,%)                | 0,47  | -0,18       | 0,27         | 0,44        | -0,07              | 0,09 | 0,23  | -0,27                      | -0,18                                 |
| SST (E,%)               | 0,04  | -0,30       | -0,01        | 0,23        | -0,07              | 0,46 | 0,03  | -0,10                      | -0,01                                 |
| CQO (E,%)               | 0,36  | -0,49       | 0,01         | 0,47        | -0,09              | 0,27 | 0,23  | -0,22                      | -0,26                                 |
| CBO <sub>5</sub> (E,%)  | -0,17 | -0,26       | 0,23         | -0,13       | 0,16               | 0,45 | -0,32 | 0,45                       | 0,10                                  |

Tabela 12.2 - Resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e eficiências de remoção

| Factor | Valor Próprio | Variância (%) | Variância Cumulativa (%) |
|--------|---------------|---------------|--------------------------|
| 1      | 2,94          | 26,76         | 26,76                    |
| 2      | 2,69          | 24,43         | 51,19                    |

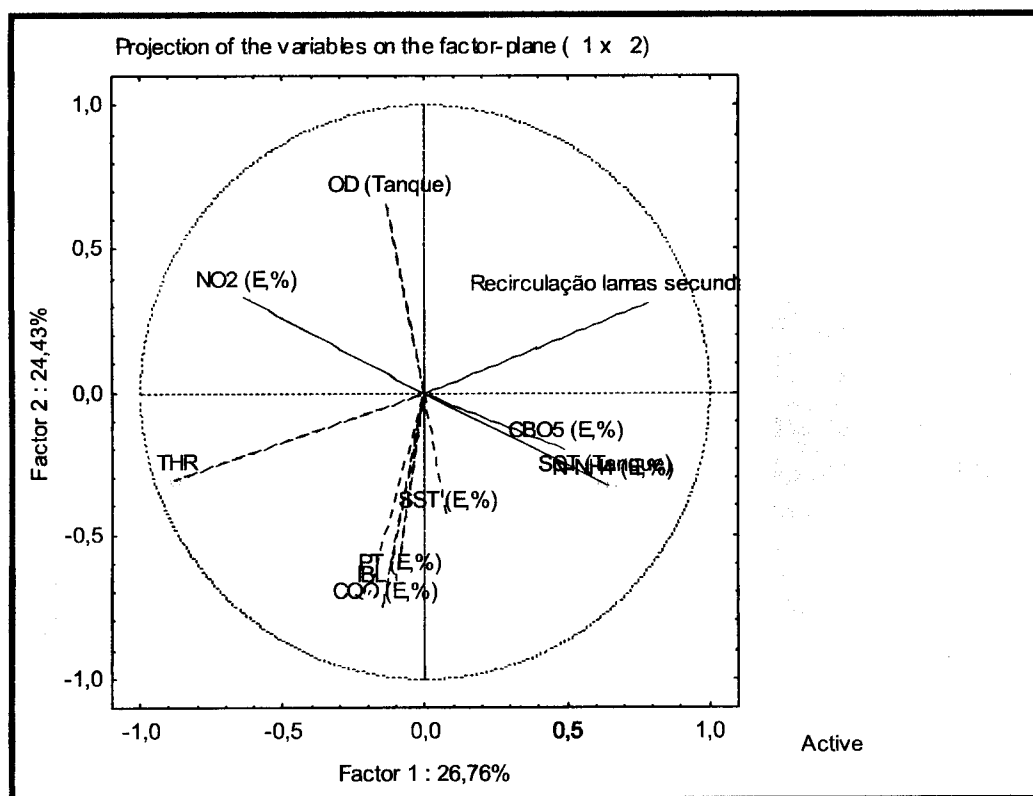


Figura 12.1 - Representação gráfica dos resultados da análise ACP aos parâmetros operacionais e eficiências de remoção

Anexo 13 – Modelo de Regressão Linear Múltipla

• Eficiência de Remoção CBO<sub>5</sub> (%)

1. Método Enter

Variables Entered/Removed<sup>b</sup>

| Model | Variables Entered                                                                                 | Variables Removed | Method |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------|
| 1     | Recirc, OD, CS, CBO5out, SSTin, SSTout, PTout, CN, IBL, CMF, CQOout, NTout, SSTtan, CBO5in, NH4in |                   | Enter  |

a. Tolerance = ,000 limits reached.

b. Dependent Variable: CBO5ef

ANOVA<sup>b</sup>

| Model |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig.           |
|-------|------------|----------------|----|-------------|---|----------------|
| 1     | Regression | 2329,069       | 15 | 155,271     | . | . <sup>a</sup> |
|       | Residual   | ,000           | 0  | .           |   |                |
|       | Total      | 2329,069       | 15 |             |   |                |

a. Predictors: (Constant), Recirc, OD, CS, CBO5out, SSTin, SSTout, PTout, CN, IBL, CMF, CQOout, NTout, SSTtan, CBO5in, NH4in

b. Dependent Variable: CBO5ef

**Coefficients<sup>a</sup>**

| Model |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t | Sig. | 95% Confidence Interval for B |             |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|---|------|-------------------------------|-------------|
|       |            | B                           | Std. Error | Beta                      |   |      | Lower Bound                   | Upper Bound |
| 1     | (Constant) | 281,113                     | ,000       |                           | . | .    | 281,113                       | 281,113     |
|       | CBO5in     | -,186                       | ,000       | -,723                     | . | .    | -,186                         | -,186       |
|       | SSTin      | ,252                        | ,000       | ,471                      | . | .    | ,252                          | ,252        |
|       | NH4in      | ,745                        | ,000       | ,364                      | . | .    | ,745                          | ,745        |
|       | CBO5out    | -,345                       | ,000       | -,446                     | . | .    | -,345                         | -,345       |
|       | CQOout     | -,439                       | ,000       | -,684                     | . | .    | -,439                         | -,439       |
|       | SSTout     | -,123                       | ,000       | -,119                     | . | .    | -,123                         | -,123       |
|       | NTout      | -,388                       | ,000       | -,296                     | . | .    | -,388                         | -,388       |
|       | PTout      | -,309                       | ,000       | -,116                     | . | .    | -,309                         | -,309       |
|       | CMF        | 3,405                       | ,000       | ,115                      | . | .    | 3,405                         | 3,405       |
|       | CS         | -15,473                     | ,000       | -,469                     | . | .    | -15,473                       | -15,473     |
|       | CN         | -,821                       | ,000       | -,134                     | . | .    | -,821                         | -,821       |
|       | IBL        | 2,388                       | ,000       | ,451                      | . | .    | 2,388                         | 2,388       |
|       | OD         | -,901                       | ,000       | -,132                     | . | .    | -,901                         | -,901       |
|       | SSTtan     | -,002                       | ,000       | -,071                     | . | .    | -,002                         | -,002       |
|       | Recirc     | -,227                       | ,000       | -,604                     | . | .    | -,227                         | -,227       |

a. Dependent Variable: CBO5ef

**Excluded Variables<sup>b</sup>**

| Model |       | Beta In        | t | Sig. | Partial Correlation | Collinearity Statistics |
|-------|-------|----------------|---|------|---------------------|-------------------------|
|       |       |                |   |      |                     | Tolerance               |
| 1     | CQOin | . <sup>a</sup> | . | .    | .                   | ,000                    |
|       | NTin  | . <sup>a</sup> | . | .    | .                   | ,000                    |
|       | PTin  | . <sup>a</sup> | . | .    | .                   | ,000                    |
|       | F     | . <sup>a</sup> | . | .    | .                   | ,000                    |
|       | THR   | . <sup>a</sup> | . | .    | .                   | ,000                    |

a. Predictors in the Model: (Constant), Recirc, OD, CS, CBO5out, SSTin, SSTout, PTout, CN, IBL, CMF, CQOout, NTout, SSTtan, CBO5in, NH4in

b. Dependent Variable: CBO5ef

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

|                      | Minimum | Maximum | Mean    | Std. Deviation | N  |
|----------------------|---------|---------|---------|----------------|----|
| Predicted Value      | 43,6913 | 93,5569 | 80,9013 | 12,46079       | 16 |
| Residual             | ,00000  | ,00000  | ,00000  | ,00000         | 16 |
| Std. Predicted Value | -2,986  | 1,016   | ,000    | 1,000          | 16 |
| Std. Residual        | .       | .       | .       | .              | 0  |

a. Dependent Variable: CBO5ef

## 2. Método Stepwise

Variables Entered/Removed<sup>a</sup>

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method                                                                                                                         |
|-------|-------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | CQOin             | .                 | Stepwise<br>(Criteria:<br>Probabilit<br>y-of-<br>F-to-enter<br><= ,050,<br>Probabilit<br>y-of-<br>F-to-remo<br>ve >=<br>,100). |
| 2     | CQOout            | .                 | Stepwise<br>(Criteria:<br>Probabilit<br>y-of-<br>F-to-enter<br><= ,050,<br>Probabilit<br>y-of-<br>F-to-remo<br>ve >=<br>,100). |

a. Dependent Variable: CBO5ef

Model Summary<sup>a</sup>

| Model | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1     | ,707 <sup>a</sup> | ,500     | ,464              | 9,11976                    |
| 2     | ,933 <sup>b</sup> | ,870     | ,850              | 4,82130                    |

a. Predictors: (Constant), CQOin

b. Predictors: (Constant), CQOin, CQOout

c. Dependent Variable: CBO5ef

ANOVA<sup>a</sup>

| Model |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F      | Sig.              |
|-------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| 1     | Regression | 1164,690       | 1  | 1164,690    | 14,004 | ,002 <sup>a</sup> |
|       | Residual   | 1164,379       | 14 | 83,170      |        |                   |
|       | Total      | 2329,069       | 15 |             |        |                   |
| 2     | Regression | 2026,884       | 2  | 1013,442    | 43,598 | ,000 <sup>b</sup> |
|       | Residual   | 302,185        | 13 | 23,245      |        |                   |
|       | Total      | 2329,069       | 15 |             |        |                   |

a. Predictors: (Constant), CQOin

b. Predictors: (Constant), CQOin, CQOout

c. Dependent Variable: CBO5ef

Excluded Variables<sup>c</sup>

| Model |         | Beta In            | t      | Sig. | Partial Correlation | Collinearity Statistics |
|-------|---------|--------------------|--------|------|---------------------|-------------------------|
|       |         |                    |        |      |                     | Tolerance               |
| 1     | CBO5in  | -,154 <sup>a</sup> | -,591  | ,565 | -,162               | ,548                    |
|       | SSTin   | ,351 <sup>a</sup>  | 1,704  | ,112 | ,427                | ,739                    |
|       | NTin    | -,461 <sup>a</sup> | -3,087 | ,009 | -,650               | ,995                    |
|       | NH4in   | -,170 <sup>a</sup> | -,863  | ,404 | -,233               | ,934                    |
|       | PTin    | ,184 <sup>a</sup>  | ,356   | ,728 | ,098                | ,143                    |
|       | CBO5out | -,084 <sup>a</sup> | -,433  | ,672 | -,119               | ,998                    |
|       | CQOout  | -,610 <sup>a</sup> | -6,090 | ,000 | -,861               | ,995                    |
|       | SSTout  | -,057 <sup>a</sup> | -,292  | ,775 | -,081               | ,993                    |
|       | NTout   | -,281 <sup>a</sup> | -1,447 | ,172 | -,372               | ,877                    |
|       | PTout   | ,004 <sup>a</sup>  | ,021   | ,984 | ,006                | ,955                    |
|       | CMF     | -,095 <sup>a</sup> | -,489  | ,633 | -,134               | ,992                    |
|       | CS      | ,049 <sup>a</sup>  | ,235   | ,818 | ,065                | ,887                    |
|       | CN      | -,210 <sup>a</sup> | -1,118 | ,284 | -,296               | ,999                    |
|       | F       | -,025 <sup>a</sup> | -,128  | ,900 | -,035               | ,984                    |
|       | IBL     | -,160 <sup>a</sup> | -,635  | ,536 | -,174               | ,585                    |
|       | OD      | -,306 <sup>a</sup> | -1,635 | ,126 | -,413               | ,910                    |
|       | SSTtan  | ,065 <sup>a</sup>  | ,329   | ,747 | ,091                | ,994                    |
|       | THR     | -,418 <sup>a</sup> | -1,789 | ,097 | -,444               | ,564                    |
|       | Recirc  | ,477 <sup>a</sup>  | 1,964  | ,071 | ,478                | ,503                    |
| 2     | CBO5in  | -,090 <sup>b</sup> | -,654  | ,526 | -,185               | ,545                    |
|       | SSTin   | ,175 <sup>b</sup>  | 1,520  | ,154 | ,402                | ,686                    |
|       | NTin    | -,151 <sup>b</sup> | -1,236 | ,240 | -,336               | ,641                    |
|       | NH4in   | ,054 <sup>b</sup>  | ,474   | ,644 | ,136                | ,822                    |
|       | PTin    | ,038 <sup>b</sup>  | ,136   | ,894 | ,039                | ,142                    |
|       | CBO5out | ,094 <sup>b</sup>  | ,897   | ,387 | ,251                | ,920                    |
|       | SSTout  | ,078 <sup>b</sup>  | ,750   | ,468 | ,212                | ,946                    |
|       | NTout   | -,139 <sup>b</sup> | -1,306 | ,216 | -,353               | ,831                    |
|       | PTout   | -,030 <sup>b</sup> | -,279  | ,785 | -,080               | ,952                    |
|       | CMF     | ,003 <sup>b</sup>  | ,033   | ,974 | ,009                | ,966                    |
|       | CS      | -,065 <sup>b</sup> | -,591  | ,566 | -,168               | ,861                    |
|       | CN      | -,090 <sup>b</sup> | -,877  | ,398 | -,245               | ,958                    |
|       | F       | -,056 <sup>b</sup> | -,544  | ,596 | -,155               | ,981                    |
|       | IBL     | ,115 <sup>b</sup>  | ,821   | ,428 | ,231                | ,521                    |
|       | OD      | -,091 <sup>b</sup> | -,798  | ,440 | -,225               | ,795                    |
|       | SSTtan  | ,029 <sup>b</sup>  | ,277   | ,787 | ,080                | ,990                    |
|       | THR     | -,108 <sup>b</sup> | -,728  | ,481 | -,206               | ,471                    |
|       | Recirc  | ,162 <sup>b</sup>  | 1,061  | ,310 | ,293                | ,424                    |

a. Predictors in the Model: (Constant), CQOin

b. Predictors in the Model: (Constant), CQOin, CQOout

c. Dependent Variable: CBO5ef

Coefficients<sup>a</sup>

| Model |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | Sig. | 95% Confidence Interval for B |             |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|-------------------------------|-------------|
|       |            | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      | Lower Bound                   | Upper Bound |
| 1     | (Constant) | 53,017                      | 7,792      |                           | 6,804  | ,000 | 36,304                        | 69,730      |
|       | CQOin      | ,081                        | ,022       | ,707                      | 3,742  | ,002 | ,034                          | ,127        |
| 2     | (Constant) | 76,971                      | 5,696      |                           | 13,514 | ,000 | 64,666                        | 89,275      |
|       | CQOin      | ,076                        | ,011       | ,665                      | 6,643  | ,000 | ,051                          | ,101        |
|       | CQOout     | -,392                       | ,064       | -,610                     | -6,090 | ,000 | -,530                         | -,253       |

a. Dependent Variable: CBO5ef

### 3. Método Backward

Variables Entered/Removed<sup>a</sup>

| Model | Variables Entered                                                                                                                  | Variables Removed | Method |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------|
| 1     | Recirc,<br>OD, CS,<br>CBO5out,<br>SSTin,<br>SSTout,<br>PTout, CN,<br>IBL, CMF,<br>CQOout,<br>NTout,<br>SSTtan,<br>CBO5in,<br>NH4in | .                 | Enter  |

a. Tolerance = ,000 limits reached.

b. Dependent Variable: CBO5ef

Model Summary<sup>b</sup>

| Model | R                  | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|--------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1     | 1,000 <sup>a</sup> | 1,000    | .                 | .                          |

a. Predictors: (Constant), Recirc, OD, CS, CBO5out, SSTin, SSTout, PTout, CN, IBL, CMF, CQOout, NTout, SSTtan, CBO5in, NH4in

b. Dependent Variable: CBO5ef

ANOVA<sup>b</sup>

| Model |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig.           |
|-------|------------|----------------|----|-------------|---|----------------|
| 1     | Regression | 2329,069       | 15 | 155,271     | . | . <sup>a</sup> |
|       | Residual   | ,000           | 0  | .           |   |                |
|       | Total      | 2329,069       | 15 |             |   |                |

a. Predictors: (Constant), Recirc, OD, CS, CBO5out, SSTin, SSTout, PTout, CN, IBL, CMF, CQOout, NTout, SSTtan, CBO5in, NH4in

b. Dependent Variable: CBO5ef

**Coefficients<sup>a</sup>**

| Model |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t | Sig. | 95% Confidence Interval for B |             |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|---|------|-------------------------------|-------------|
|       |            | B                           | Std. Error | Beta                      |   |      | Lower Bound                   | Upper Bound |
| 1     | (Constant) | 281,113                     | ,000       |                           | . | .    | 281,113                       | 281,113     |
|       | CBO5in     | -,186                       | ,000       | -,723                     | . | .    | -,186                         | -,186       |
|       | SSTin      | ,252                        | ,000       | ,471                      | . | .    | ,252                          | ,252        |
|       | NH4in      | ,745                        | ,000       | ,364                      | . | .    | ,745                          | ,745        |
|       | CBO5out    | -,345                       | ,000       | -,446                     | . | .    | -,345                         | -,345       |
|       | CQOout     | -,439                       | ,000       | -,684                     | . | .    | -,439                         | -,439       |
|       | SSTout     | -,123                       | ,000       | -,119                     | . | .    | -,123                         | -,123       |
|       | NTout      | -,388                       | ,000       | -,296                     | . | .    | -,388                         | -,388       |
|       | PTout      | -,309                       | ,000       | -,116                     | . | .    | -,309                         | -,309       |
|       | CMF        | 3,405                       | ,000       | ,115                      | . | .    | 3,405                         | 3,405       |
|       | CS         | -15,473                     | ,000       | -,469                     | . | .    | -15,473                       | -15,473     |
|       | CN         | -,821                       | ,000       | -,134                     | . | .    | -,821                         | -,821       |
|       | IBL        | 2,388                       | ,000       | ,451                      | . | .    | 2,388                         | 2,388       |
|       | OD         | -,901                       | ,000       | -,132                     | . | .    | -,901                         | -,901       |
|       | SSTtan     | -,002                       | ,000       | -,071                     | . | .    | -,002                         | -,002       |
|       | Recirc     | -,227                       | ,000       | -,604                     | . | .    | -,227                         | -,227       |

a. Dependent Variable: CBO5ef

**Excluded Variables<sup>b</sup>**

| Model |       | Beta In        | t | Sig. | Partial Correlation | Collinearity Statistics |
|-------|-------|----------------|---|------|---------------------|-------------------------|
|       |       |                |   |      |                     | Tolerance               |
| 1     | CQOin | . <sup>a</sup> | . | .    | .                   | ,000                    |
|       | NTin  | . <sup>a</sup> | . | .    | .                   | ,000                    |
|       | PTin  | . <sup>a</sup> | . | .    | .                   | ,000                    |
|       | F     | . <sup>a</sup> | . | .    | .                   | ,000                    |
|       | THR   | . <sup>a</sup> | . | .    | .                   | ,000                    |

a. Predictors in the Model: (Constant), Recirc, OD, CS, CBO5out, SSTin, SSTout, PTout, CN, IBL, CMF, CQOout, NTout, SSTtan, CBO5in, NH4in

b. Dependent Variable: CBO5ef

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

|                      | Minimum | Maximum | Mean    | Std. Deviation | N  |
|----------------------|---------|---------|---------|----------------|----|
| Predicted Value      | 43,6913 | 93,5569 | 80,9013 | 12,46079       | 16 |
| Residual             | ,00000  | ,00000  | ,00000  | ,00000         | 16 |
| Std. Predicted Value | -2,986  | 1,016   | ,000    | 1,000          | 16 |
| Std. Residual        | .       | .       | .       | .              | 0  |

a. Dependent Variable: CBO5ef

#### 4. Método Forward

Variables Entered/Removed<sup>a</sup>

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method                                                                  |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1     | CQOin             |                   | Forward<br>(Criterion:<br>Probabilit<br>y-of-<br>F-to-enter<br><= ,050) |
| 2     | CQOout            |                   | Forward<br>(Criterion:<br>Probabilit<br>y-of-<br>F-to-enter<br><= ,050) |

a. Dependent Variable: CBO5ef

Model Summary<sup>a</sup>

| Model | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1     | ,707 <sup>a</sup> | ,500     | ,464              | 9,11976                    |
| 2     | ,933 <sup>b</sup> | ,870     | ,850              | 4,82130                    |

a. Predictors: (Constant), CQOin

b. Predictors: (Constant), CQOin, CQOout

c. Dependent Variable: CBO5ef

ANOVA<sup>a</sup>

| Model |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F      | Sig.              |
|-------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| 1     | Regression | 1164,690       | 1  | 1164,690    | 14,004 | ,002 <sup>a</sup> |
|       | Residual   | 1164,379       | 14 | 83,170      |        |                   |
|       | Total      | 2329,069       | 15 |             |        |                   |
| 2     | Regression | 2026,884       | 2  | 1013,442    | 43,598 | ,000 <sup>b</sup> |
|       | Residual   | 302,185        | 13 | 23,245      |        |                   |
|       | Total      | 2329,069       | 15 |             |        |                   |

a. Predictors: (Constant), CQOin

b. Predictors: (Constant), CQOin, CQOout

c. Dependent Variable: CBO5ef

Coefficients<sup>a</sup>

| Model |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | Sig. | 95% Confidence Interval for B |             |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|-------------------------------|-------------|
|       |            | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      | Lower Bound                   | Upper Bound |
| 1     | (Constant) | 53,017                      | 7,792      |                           | 6,804  | ,000 | 36,304                        | 69,730      |
|       | CQOin      | ,081                        | ,022       | ,707                      | 3,742  | ,002 | ,034                          | ,127        |
| 2     | (Constant) | 76,971                      | 5,696      |                           | 13,514 | ,000 | 64,666                        | 89,275      |
|       | CQOin      | ,076                        | ,011       | ,665                      | 6,643  | ,000 | ,051                          | ,101        |
|       | CQOout     | -,392                       | ,064       | -,610                     | -6,090 | ,000 | -,530                         | -,253       |

a. Dependent Variable: CBO5ef

Excluded Variables<sup>c</sup>

| Model |         | Beta In            | t      | Sig. | Partial Correlation | Collinearity Statistics |
|-------|---------|--------------------|--------|------|---------------------|-------------------------|
|       |         |                    |        |      |                     | Tolerance               |
| 1     | CBO5in  | -,154 <sup>a</sup> | -,591  | ,565 | -,162               | ,548                    |
|       | SSTin   | ,351 <sup>a</sup>  | 1,704  | ,112 | ,427                | ,739                    |
|       | NTin    | -,461 <sup>a</sup> | -3,087 | ,009 | -,650               | ,995                    |
|       | NH4in   | -,170 <sup>a</sup> | -,863  | ,404 | -,233               | ,934                    |
|       | PTin    | ,184 <sup>a</sup>  | ,356   | ,728 | ,098                | ,143                    |
|       | CBO5out | -,084 <sup>a</sup> | -,433  | ,672 | -,119               | ,998                    |
|       | CQOout  | -,610 <sup>a</sup> | -6,090 | ,000 | -,861               | ,995                    |
|       | SSTout  | -,057 <sup>a</sup> | -,292  | ,775 | -,081               | ,993                    |
|       | NTout   | -,281 <sup>a</sup> | -1,447 | ,172 | -,372               | ,877                    |
|       | PTout   | ,004 <sup>a</sup>  | ,021   | ,984 | ,006                | ,955                    |
|       | CMF     | -,095 <sup>a</sup> | -,489  | ,633 | -,134               | ,992                    |
|       | CS      | ,049 <sup>a</sup>  | ,235   | ,818 | ,065                | ,887                    |
|       | CN      | -,210 <sup>a</sup> | -1,118 | ,284 | -,296               | ,999                    |
|       | F       | -,025 <sup>a</sup> | -,128  | ,900 | -,035               | ,984                    |
|       | IBL     | -,160 <sup>a</sup> | -,635  | ,536 | -,174               | ,585                    |
|       | OD      | -,306 <sup>a</sup> | -1,635 | ,126 | -,413               | ,910                    |
|       | SSTtan  | ,065 <sup>a</sup>  | ,329   | ,747 | ,091                | ,994                    |
|       | THR     | -,418 <sup>a</sup> | -1,789 | ,097 | -,444               | ,564                    |
|       | Recirc  | ,477 <sup>a</sup>  | 1,964  | ,071 | ,478                | ,503                    |
| 2     | CBO5in  | -,090 <sup>b</sup> | -,654  | ,526 | -,185               | ,545                    |
|       | SSTin   | ,175 <sup>b</sup>  | 1,520  | ,154 | ,402                | ,686                    |
|       | NTin    | -,151 <sup>b</sup> | -1,236 | ,240 | -,336               | ,641                    |
|       | NH4in   | ,054 <sup>b</sup>  | ,474   | ,644 | ,136                | ,822                    |
|       | PTin    | ,038 <sup>b</sup>  | ,136   | ,894 | ,039                | ,142                    |
|       | CBO5out | ,094 <sup>b</sup>  | ,897   | ,387 | ,251                | ,920                    |
|       | SSTout  | ,078 <sup>b</sup>  | ,750   | ,468 | ,212                | ,946                    |
|       | NTout   | -,139 <sup>b</sup> | -1,306 | ,216 | -,353               | ,831                    |
|       | PTout   | -,030 <sup>b</sup> | -,279  | ,785 | -,080               | ,952                    |
|       | CMF     | ,003 <sup>b</sup>  | ,033   | ,974 | ,009                | ,966                    |
|       | CS      | -,065 <sup>b</sup> | -,591  | ,566 | -,168               | ,861                    |
|       | CN      | -,090 <sup>b</sup> | -,877  | ,398 | -,245               | ,958                    |
|       | F       | -,056 <sup>b</sup> | -,544  | ,596 | -,155               | ,981                    |
|       | IBL     | ,115 <sup>b</sup>  | ,821   | ,428 | ,231                | ,521                    |
|       | OD      | -,091 <sup>b</sup> | -,798  | ,440 | -,225               | ,795                    |
|       | SSTtan  | ,029 <sup>b</sup>  | ,277   | ,787 | ,080                | ,990                    |
|       | THR     | -,108 <sup>b</sup> | -,728  | ,481 | -,206               | ,471                    |
|       | Recirc  | ,162 <sup>b</sup>  | 1,061  | ,310 | ,293                | ,424                    |

a. Predictors in the Model: (Constant), CQOin

b. Predictors in the Model: (Constant), CQOin, CQOout

c. Dependent Variable: CBO5ef

- **Eficiência de Remoção de  $\text{NH}_4$  (%)**

**Warnings**

For models with dependent variable NH4ef, the following variables are constants or have missing correlations: CMF. They will be deleted from the analysis.

**Variables Entered/Removed<sup>a</sup>**

a. Dependent Variable: NH4ef

- **Eficiência de Remoção de  $\text{NO}_2$  (%)**

**Variables Entered/Removed<sup>a</sup>**

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method                                                                                      |
|-------|-------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | NTout             |                   | Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= ,050, Probability-of-F-to-remove >= ,100). |

a. Dependent Variable: NO2ef

**Model Summary**

| Model | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1     | ,765 <sup>a</sup> | ,586     | ,556              | 11,69906                   |

a. Predictors: (Constant), NTout

**ANOVA<sup>b</sup>**

| Model |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F      | Sig.              |
|-------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| 1     | Regression | 2711,296       | 1  | 2711,296    | 19,810 | ,001 <sup>a</sup> |
|       | Residual   | 1916,151       | 14 | 136,868     |        |                   |
|       | Total      | 4627,447       | 15 |             |        |                   |

a. Predictors: (Constant), NTout

b. Dependent Variable: NO2ef

**Coefficients<sup>a</sup>**

| Model        | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | Sig. | 95% Confidence Interval for B |             |
|--------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|-------------------------------|-------------|
|              | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      | Lower Bound                   | Upper Bound |
| 1 (Constant) | -4,039                      | 3,255      |                           | -1,241 | ,235 | -11,021                       | 2,943       |
| NTout        | 18,379                      | 4,129      | ,765                      | 4,451  | ,001 | 9,522                         | 27,235      |

a. Dependent Variable: NO2ef

**Excluded Variables<sup>b</sup>**

| Model |           | Beta In            | t      | Sig. | Partial Correlation | Collinearity Statistics |
|-------|-----------|--------------------|--------|------|---------------------|-------------------------|
|       |           |                    |        |      |                     | Tolerance               |
| 1     | CBO5in    | ,142 <sup>a</sup>  | ,812   | ,431 | ,220                | ,993                    |
|       | CQOin     | ,088 <sup>a</sup>  | ,495   | ,629 | ,136                | ,998                    |
|       | SSTin     | ,042 <sup>a</sup>  | ,227   | ,824 | ,063                | ,946                    |
|       | NTin      | ,204 <sup>a</sup>  | 1,194  | ,254 | ,314                | ,985                    |
|       | PTin      | ,317 <sup>a</sup>  | 2,028  | ,064 | ,490                | ,992                    |
|       | CBO5out   | -,065 <sup>a</sup> | -,367  | ,719 | -,101               | ,993                    |
|       | CQOout    | -,197 <sup>a</sup> | -1,140 | ,275 | -,301               | ,974                    |
|       | PTout     | -,164 <sup>a</sup> | -,946  | ,361 | -,254               | ,996                    |
|       | CS        | -,017 <sup>a</sup> | -,090  | ,930 | -,025               | ,939                    |
|       | CN        | -,093 <sup>a</sup> | -,521  | ,611 | -,143               | ,985                    |
|       | Flag      | -,007 <sup>a</sup> | -,037  | ,971 | -,010               | ,998                    |
|       | IBL       | ,229 <sup>a</sup>  | 1,359  | ,197 | ,353                | ,985                    |
|       | OD        | ,091 <sup>a</sup>  | ,509   | ,619 | ,140                | ,972                    |
|       | SSTTanque | -,109 <sup>a</sup> | -,620  | ,546 | -,170               | ,999                    |
|       | THR       | ,282 <sup>a</sup>  | 1,736  | ,106 | ,434                | ,982                    |
|       | Recir     | ,229 <sup>a</sup>  | 1,306  | ,214 | ,341                | ,919                    |

a. Predictors in the Model: (Constant), NTout

b. Dependent Variable: NO2ef

• Eficiência de Remoção de PT (%)

Variables Entered/Removed<sup>d</sup>

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method                                                                                                                         |
|-------|-------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | CQOin             | .                 | Stepwise<br>(Criteria:<br>Probabilit<br>y-of-<br>F-to-enter<br><= ,050,<br>Probabilit<br>y-of-<br>F-to-remo<br>ve >=<br>,100). |
| 2     | NTout             | .                 | Stepwise<br>(Criteria:<br>Probabilit<br>y-of-<br>F-to-enter<br><= ,050,<br>Probabilit<br>y-of-<br>F-to-remo<br>ve >=<br>,100). |

a. Dependent Variable: PTef

Model Summary

| Model | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1     | ,739 <sup>a</sup> | ,546     | ,513              | 14,20719                   |
| 2     | ,816 <sup>b</sup> | ,666     | ,615              | 12,63888                   |

a. Predictors: (Constant), CQOin

b. Predictors: (Constant), CQOin, NTout

ANOVA<sup>c</sup>

| Model |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F      | Sig.              |
|-------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| 1     | Regression | 3396,361       | 1  | 3396,361    | 16,827 | ,001 <sup>a</sup> |
|       | Residual   | 2825,820       | 14 | 201,844     |        |                   |
|       | Total      | 6222,181       | 15 |             |        |                   |
| 2     | Regression | 4145,544       | 2  | 2072,772    | 12,976 | ,001 <sup>b</sup> |
|       | Residual   | 2076,636       | 13 | 159,741     |        |                   |
|       | Total      | 6222,181       | 15 |             |        |                   |

a. Predictors: (Constant), CQOin

b. Predictors: (Constant), CQOin, NTout

c. Dependent Variable: PTef

Coefficients<sup>a</sup>

| Model |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | Sig. | 95% Confidence Interval for B |             |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|-------------------------------|-------------|
|       |            | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      | Lower Bound                   | Upper Bound |
| 1     | (Constant) | -43,882                     | 12,139     |                           | -3,615 | ,003 | -69,918                       | -17,846     |
|       | CQOin      | ,138                        | ,034       | ,739                      | 4,102  | ,001 | ,066                          | ,210        |
| 2     | (Constant) | -48,202                     | 10,982     |                           | -4,389 | ,001 | -71,927                       | -24,477     |
|       | CQOin      | ,141                        | ,030       | ,754                      | 4,701  | ,000 | ,076                          | ,205        |
|       | NTout      | 9,670                       | 4,465      | ,347                      | 2,166  | ,050 | ,024                          | 19,317      |

a. Dependent Variable: PTef

Excluded Variables<sup>c</sup>

| Model |           | Beta In            | t     | Sig. | Partial Correlation | Collinearity Statistics |
|-------|-----------|--------------------|-------|------|---------------------|-------------------------|
|       |           |                    |       |      |                     | Tolerance               |
| 1     | CBO5in    | -,123 <sup>a</sup> | -,493 | ,630 | -,136               | ,548                    |
|       | SSTin     | ,213 <sup>a</sup>  | 1,019 | ,327 | ,272                | ,739                    |
|       | NTin      | -,081 <sup>a</sup> | -,429 | ,675 | -,118               | ,976                    |
|       | PTin      | ,324 <sup>a</sup>  | 1,816 | ,092 | ,450                | ,874                    |
|       | CBO5out   | -,102 <sup>a</sup> | -,424 | ,679 | -,117               | ,597                    |
|       | CQOout    | ,089 <sup>a</sup>  | ,480  | ,639 | ,132                | ,998                    |
|       | NTout     | ,347 <sup>a</sup>  | 2,166 | ,050 | ,515                | ,998                    |
|       | PTout     | -,020 <sup>a</sup> | -,107 | ,916 | -,030               | ,980                    |
|       | CS        | ,090 <sup>a</sup>  | ,482  | ,638 | ,132                | ,992                    |
|       | CN        | -,034 <sup>a</sup> | -,182 | ,858 | -,050               | 1,000                   |
|       | Flag      | ,043 <sup>a</sup>  | ,232  | ,820 | ,064                | ,999                    |
|       | IBL       | ,178 <sup>a</sup>  | ,869  | ,400 | ,234                | ,783                    |
|       | OD        | ,291 <sup>a</sup>  | 1,261 | ,230 | ,330                | ,585                    |
|       | SSTTanque | -,074 <sup>a</sup> | -,381 | ,710 | -,105               | ,910                    |
|       | THR       | -,150 <sup>a</sup> | -,729 | ,479 | -,198               | ,795                    |
|       | Recir     | ,392 <sup>a</sup>  | 1,924 | ,077 | ,471                | ,656                    |
| 2     | CBO5in    | -,089 <sup>b</sup> | -,396 | ,699 | -,114               | ,545                    |
|       | SSTin     | ,102 <sup>b</sup>  | ,509  | ,620 | ,145                | ,674                    |
|       | NTin      | -,040 <sup>b</sup> | -,238 | ,816 | -,068               | ,962                    |
|       | PTin      | ,296 <sup>b</sup>  | 1,886 | ,084 | ,478                | ,868                    |
|       | CBO5out   | -,069 <sup>b</sup> | -,322 | ,753 | -,093               | ,594                    |
|       | CQOout    | ,149 <sup>b</sup>  | ,914  | ,379 | ,255                | ,972                    |
|       | PTout     | -,045 <sup>b</sup> | -,270 | ,792 | -,078               | ,975                    |
|       | CS        | ,004 <sup>b</sup>  | ,026  | ,980 | ,007                | ,933                    |
|       | CN        | -,078 <sup>b</sup> | -,468 | ,648 | -,134               | ,984                    |
|       | Flag      | ,028 <sup>b</sup>  | ,171  | ,867 | ,049                | ,997                    |
|       | IBL       | ,227 <sup>b</sup>  | 1,273 | ,227 | ,345                | ,773                    |
|       | OD        | ,188 <sup>b</sup>  | ,858  | ,408 | ,240                | ,547                    |
|       | SSTTanque | -,082 <sup>b</sup> | -,472 | ,645 | -,135               | ,910                    |
|       | THR       | -,102 <sup>b</sup> | -,548 | ,594 | -,156               | ,782                    |
|       | Recir     | ,284 <sup>b</sup>  | 1,409 | ,184 | ,377                | ,589                    |

a. Predictors in the Model: (Constant), CQOin

b. Predictors in the Model: (Constant), CQOin, NTout

c. Dependent Variable: PTef

## • Eficiência de Remoção de SST (%)

Variables Entered/Removed<sup>a</sup>

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method                                                                                                                         |
|-------|-------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | CBO5out           |                   | Stepwise<br>(Criteria:<br>Probabilit<br>y-of-<br>F-to-enter<br><= ,050,<br>Probabilit<br>y-of-<br>F-to-remo<br>ve >=<br>,100). |

a. Dependent Variable: SSTef

Model Summary

| Model | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1     | ,674 <sup>a</sup> | ,454     | ,415              | 24,93298                   |

a. Predictors: (Constant), CBO5out

ANOVA<sup>a</sup>

| Model |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F      | Sig.              |
|-------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| 1     | Regression | 7241,240       | 1  | 7241,240    | 11,648 | ,004 <sup>a</sup> |
|       | Residual   | 8703,147       | 14 | 621,653     |        |                   |
|       | Total      | 15944,388      | 15 |             |        |                   |

a. Predictors: (Constant), CBO5out

b. Dependent Variable: SSTef

Coefficients<sup>a</sup>

| Model |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | Sig. | 95% Confidence Interval for B |             |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|-------------------------------|-------------|
|       |            | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      | Lower Bound                   | Upper Bound |
| 1     | (Constant) | -485,251                    | 158,607    |                           | -3,059 | ,008 | -825,428                      | -145,073    |
|       | CBO5out    | 74,524                      | 21,835     | ,674                      | 3,413  | ,004 | 27,691                        | 121,356     |

a. Dependent Variable: SSTef

Excluded Variables<sup>b</sup>

| Model |           | Beta In            | t      | Sig. | Partial Correlation | Collinearity Statistics |
|-------|-----------|--------------------|--------|------|---------------------|-------------------------|
|       |           |                    |        |      |                     | Tolerance               |
| 1     | CBO5in    | -,045 <sup>a</sup> | -,176  | ,863 | -,049               | ,633                    |
|       | CQOin     | ,046 <sup>a</sup>  | ,173   | ,865 | ,048                | ,597                    |
|       | SSTin     | ,147 <sup>a</sup>  | ,556   | ,588 | ,152                | ,583                    |
|       | NTin      | ,240 <sup>a</sup>  | 1,229  | ,241 | ,323                | ,988                    |
|       | PTin      | ,257 <sup>a</sup>  | 1,290  | ,220 | ,337                | ,939                    |
|       | CQOout    | ,254 <sup>a</sup>  | 1,316  | ,211 | ,343                | ,991                    |
|       | NTout     | ,162 <sup>a</sup>  | ,805   | ,435 | ,218                | ,993                    |
|       | PTout     | -,031 <sup>a</sup> | -,150  | ,883 | -,041               | ,995                    |
|       | CS        | ,127 <sup>a</sup>  | ,623   | ,544 | ,170                | ,977                    |
|       | CN        | -,075 <sup>a</sup> | -,361  | ,724 | -,100               | ,955                    |
|       | Flag      | -,244 <sup>a</sup> | -1,237 | ,238 | -,324               | ,967                    |
|       | IBL       | ,121 <sup>a</sup>  | ,513   | ,617 | ,141                | ,737                    |
|       | OD        | ,274 <sup>a</sup>  | 1,338  | ,204 | ,348                | ,882                    |
|       | SSTTanque | ,025 <sup>a</sup>  | ,117   | ,908 | ,033                | ,913                    |
|       | THR       | -,072 <sup>a</sup> | -,344  | ,736 | -,095               | ,947                    |
|       | Recir     | ,145 <sup>a</sup>  | ,601   | ,558 | ,164                | ,697                    |

a. Predictors in the Model: (Constant), CBO5out

b. Dependent Variable: SSTef

• **Eficiência de Remoção de CQO (%)**

Variables Entered/Removed<sup>a</sup>

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method                                                                                                                         |
|-------|-------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | CBO5in            |                   | Stepwise<br>(Criteria:<br>Probabilit<br>y-of-<br>F-to-enter<br><= ,050,<br>Probabilit<br>y-of-<br>F-to-remo<br>ve >=<br>,100). |

a. Dependent Variable: CQOef

Model Summary

| Model | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1     | ,520 <sup>a</sup> | ,270     | ,218              | 9,23831                    |

a. Predictors: (Constant), CBO5in

ANOVA<sup>b</sup>

| Model |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F     | Sig.              |
|-------|------------|----------------|----|-------------|-------|-------------------|
| 1     | Regression | 442,524        | 1  | 442,524     | 5,185 | ,039 <sup>a</sup> |
|       | Residual   | 1194,850       | 14 | 85,346      |       |                   |
|       | Total      | 1637,374       | 15 |             |       |                   |

a. Predictors: (Constant), CBO5in

b. Dependent Variable: CQOef

Coefficients<sup>a</sup>

| Model |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t     | Sig. | 95% Confidence Interval for B |             |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|-------|------|-------------------------------|-------------|
|       |            | B                           | Std. Error | Beta                      |       |      | Lower Bound                   | Upper Bound |
| 1     | (Constant) | 58,592                      | 10,047     |                           | 5,832 | ,000 | 37,044                        | 80,140      |
|       | CBO5in     | ,112                        | ,049       | ,520                      | 2,277 | ,039 | ,007                          | ,218        |

a. Dependent Variable: CQOef

Excluded Variables<sup>b</sup>

| Model |           | Beta In            | t      | Sig. | Partial<br>Correlation | Collinearity<br>Statistics |
|-------|-----------|--------------------|--------|------|------------------------|----------------------------|
|       |           |                    |        |      |                        | Tolerance                  |
| 1     | CQOin     | -,071 <sup>a</sup> | -,223  | ,827 | -,062                  | ,548                       |
|       | SSTin     | ,319 <sup>a</sup>  | 1,314  | ,211 | ,343                   | ,842                       |
|       | NTin      | -,391 <sup>a</sup> | -1,839 | ,089 | -,454                  | ,987                       |
|       | PTin      | -,273 <sup>a</sup> | -1,206 | ,249 | -,317                  | ,988                       |
|       | CBO5out   | ,191 <sup>a</sup>  | ,654   | ,525 | ,178                   | ,633                       |
|       | CQOout    | -,179 <sup>a</sup> | -,762  | ,460 | -,207                  | ,976                       |
|       | NTout     | ,151 <sup>a</sup>  | ,647   | ,529 | ,177                   | ,993                       |
|       | PTout     | ,024 <sup>a</sup>  | ,089   | ,931 | ,025                   | ,738                       |
|       | CS        | ,164 <sup>a</sup>  | ,688   | ,504 | ,187                   | ,953                       |
|       | CN        | -,341 <sup>a</sup> | -1,519 | ,153 | -,388                  | ,947                       |
|       | Flag      | -,195 <sup>a</sup> | -,845  | ,413 | -,228                  | ,996                       |
|       | IBL       | ,282 <sup>a</sup>  | 1,193  | ,254 | ,314                   | ,903                       |
|       | OD        | -,193 <sup>a</sup> | -,769  | ,455 | -,209                  | ,849                       |
|       | SSTTanque | -,090 <sup>a</sup> | -,342  | ,738 | -,094                  | ,801                       |
|       | THR       | ,175 <sup>a</sup>  | ,502   | ,624 | ,138                   | ,452                       |
|       | Recir     | ,055 <sup>a</sup>  | ,221   | ,828 | ,061                   | ,916                       |

a. Predictors in the Model: (Constant), CBO5in

b. Dependent Variable: CQOef