



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Benchmarking à Utilização de Energia no Tratamento Biológico de Águas Residuais

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente

Autor

José Nuno Bandeira Coimbra

Orientador

Professor Doutor Pedro Lopes Tavares

Professor Doutor Jorge Santos Temido

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correcções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, Julho, 2013

AGRADECIMENTOS

Este espaço é dedicado a todos que contribuíram para realização desta dissertação. A todos eles expresso aqui os meus sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar, quero agradecer ao Professor Doutor Jorge Temido, o meu muito obrigado pelos valiosos conhecimentos transmitidos, pela orientação, motivação e confiança fundamentais na realização deste trabalho.

Em segundo lugar, quero agradecer ao Professor Doutor Pedro Tavares, por todo o seu apoio e disponibilidade durante a realização desta dissertação.

Em terceiro lugar, quero agradecer a minha família pela compreensão e incentivo ao longo de todo o meu percurso académico.

RESUMO

Atualmente, em Portugal Continental, cerca de 75% das águas residuais urbanas são tratadas em ETAR antes do seu lançamento no meio recetor final. Em virtude do esforço de investimento desde o início deste milénio, nomeadamente através dos programas PEAASAR I e PEAASAR II, a população do Continente servida por sistemas público de tratamento de águas residuais tem vindo a aumentar, desde um valor próximo dos 50% em 2000, até aos atuais 75%. Com o tratamento de águas residuais urbanas pretende-se reduzir a emissão de poluentes aquáticos por forma a garantir a boa qualidade das massas de água que constituem o meio recetor final das águas tratadas. Para o efeito as descargas das ETAR são sujeitas a normas de descarga que fixam valores limites de emissão máximos para os principais poluentes aquáticos. A par da eficácia do tratamento há que ter também em atenção a maior eficiência possível em termos de custo. De entre os custos de exploração das ETAR, os custos com a energia e, particularmente, com a eletricidade são significativos, pelo que importa reduzi-los para diminuir a fatura energética e para mitigar as emissões de gases com efeitos de estufa associados à utilização de combustíveis fósseis utilizados na produção de eletricidade. Em Portugal, o consumo de eletricidade nas ETAR representa cerca de 2% do consumo total, ocorrendo este consumo em várias operações e processos nelas incluídos. No entanto, é conhecido que a energia gasta no tratamento biológico das águas residuais é, normalmente, a fatia mais significativa da energia consumida numa ETAR. No presente trabalho pretende-se avaliar comparativamente (benchmarking) a utilização de energia em vários reatores biológicos em ETAR destinadas ao tratamento de residuais urbanas, incluindo-se soluções baseadas em sistemas de lamas ativadas e em sistemas de biofilme em ETAR de várias dimensões. Para o efeito recorre-se a um sistema de Indicadores de Desempenho (ID) energético para a avaliação dos sistemas de tratamento biológico, nomeadamente: (1) Kwh consumidos/1000m³ de água residual tratada; (2) Kwh consumidos/kg CBO₅ removido; (3) % do total de consumo de energia na ETAR.

ABSTRACT

Currently in mainland Portugal about 75% of urban wastewater is treated at the treatment plants before it's launched into its final receiver environment. Due to the investment effort made from the beginning of the millennium, namely by forcing into action programs such as PEAASAR I and PEAASAR II (Strategic Water Supply and Waste-Water Sanitation Plans), mainland population served by the public systems of wastewater treatment has been increasing, from 50% in 2000 to the presently referred 75%. The main goal of wastewater treatment is to comply with the applicable norms in matter of wastewater discharges in order to preserve the quality of the water masses that constitute the final receiver environment of treated waters. For the effort discharges from water treatment plants are subject to discharge standards that set maximum emission limit levels for the major water pollutants. It's desirable that wastewater treatment is carried on in the most efficient way possible, cost wise. From all the costs involved on the managing of the treatment plants, energy costs, namely electricity, are the most significant, so they must be addressed in order to reduce energy consumption and emissions of greenhouse gases, related to the usage of fossil fuels to produce electricity. In Portugal, energy consumption in treatment plants represents about 2% of whole energetic consumption. This energetic consumption occurs in various operations and processes within. Nevertheless, it's well known that the expended energy in the biological process of wastewater treatment represents the most significant fraction of energy expended within treatment plants. The present essay aims to benchmark energy usage in the various biological reactors within the urban treatment plants, including suggested solutions based on activated sludge and biofilm systems integrated on treatment plants of assorted dimensions. In order to do so, energetic performance indicators will be used to evaluate biological treatment systems, for instance: (1) consumed KWh / 1000 m³ of treated wastewater; (2) consumed KWh /Kg removed CB05; (3)% of the total consumed energy in the SWTP

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Considerações Iniciais	1
1.2	Objetivos do Trabalho	2
1.3	Estrutura do Trabalho	2
2.	CONCEITOS FUNDAMENTAIS SOBRE ENERGIA.....	4
2.1	Introdução	4
2.2	Conceitos Fundamentais	5
2.2.1	Cadeia de conversão de energia.....	5
2.2.2	Energia útil e energia dissipada.....	6
2.2.3	Potência	6
2.3	Fontes Primárias de Energia	7
2.4	Formas de Energia	9
2.4.1	Produtos da refinação do petróleo	9
2.4.2	Eletricidade e gás natural.....	10
2.5	Sistemas de Energia Elétrica.....	10
2.5.1	Tipos de corrente elétrica	10
2.5.2	Sistemas Tarifários	13
2.6	Necessidades energéticas	18
2.6.1	Sectores.....	18
2.6.2	No sector dos serviços de água e resíduos.....	19
3.	UTILIZAÇÃO DE ENERGIA EM ETAR.....	21
3.1	Introdução	21
3.2	Utilização Global	21
3.3	Utilização em Operação e Processos de Tratamento	22
3.3.1	Tratamento preliminar e primário.....	22
3.3.2	Tratamento biológico.....	24
3.3.3	Tratamento terciário	26

3.3.4	Tratamento de lamas.....	27
3.4	Sistemas de Bombagem.....	28
3.5	Sistemas de Arejamento.....	29
4.	CASOS DE ESTUDO.....	32
4.1	Descrição geral.....	32
4.2	Indicadores de Desempenho.....	32
4.3	Caso 1 – 26 ETAR.....	33
4.3.1	Resultados gerais.....	33
4.3.2	Indicadores de Desempenho (ID1) e (ID2).....	38
4.4	Caso 2 – 13 ETAR.....	39
4.4.1	Potência instalada por fase de tratamento.....	39
4.4.2	Potência instalada no tratamento biológico.....	43
4.5	Caso 3 – 7 ETAR.....	47
4.5.1	Energia consumida por fase de tratamento (ID ₃).....	48
4.5.2	Energia consumida no tratamento biológico.....	54
4.5.3	Energia consumida por kg de CB05 removido (ID2).....	62
5.	CONCLUSÕES.....	64
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
	ANEXO A.....	A-1
	ANEXO B.....	B-1
	ANEXO C.....	6-A

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – CADEIA DE CONVERSÃO DE ENERGIA	5
FIGURA 2.2 – EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA PRIMÁRIA EM PORTUGAL (DGEG)	9
FIGURA 2.3 – TRIANGULO DE POTÊNCIA	12
FIGURA 2.4 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA POR SECTOR 2010 (KWH)	19
FIGURA 2.5 – ATIVIDADES NO SECTOR DA ÁGUA E RESÍDUOS (ABASTECIMENTO, SANEAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS E GESTÃO DE RESÍDUOS) (ERSAR, 2011)	20
FIGURA 3.2 – A) SISTEMA DO TIPO LEITO PERCOLADOR B) SISTEMA DO TIPO BIODISCOS	25
FIGURA 3.3 – A) SISTEMA DO TIPO MBBR E B) SISTEMA CONVENCIONAL DE LAMAS ATIVADAS	25
FIGURA 3.5 – PONTO DE FUNCIONAMENTO DE UMA BOMBA	29
FIGURA 5.1 – POPULAÇÃO DE DIMENSIONAMENTO/POPULAÇÃO EM 2010	33
FIGURA 5.2 – POTÊNCIA CONTRATADA/POPULAÇÃO DE DIMENSIONAMENTO	34
FIGURA 5.3 – POTÊNCIA CONTRATADA/POPULAÇÃO DE DIMENSIONAMENTO/TIPO DE TRATAMENTO SECUNDÁRIO	35
FIGURA 5.4 – RELAÇÃO ENTRE A POTÊNCIA CONTRATADA (KW) E A POPULAÇÃO NO ANO DE 2010	36
FIGURA 5.5 – ENERGIA CONSUMIDA (KWH) POR HABITANTE PARA O ANO DE 2010	36
FIGURA 5.6 – CUSTO (€) / ENERGIA CONSUMIDA (KWH)	37
FIGURA 5.7 – ENERGIA CONSUMIDA POR 1000 M ³ DE ÁGUA RESIDUAL TRATADA	38
FIGURA 5.8 – ENERGIA CONSUMIDA / REMOÇÃO DE CBO ₅	39
FIGURA 5.9 – POTÊNCIA INSTALADA POR FASE DE TRATAMENTO	40
FIGURA 5.10 – POTÊNCIA INSTALADA POR FASE DE TRATAMENTO, EM SISTEMAS DE LAAP	41
FIGURA 5.11 – POTÊNCIA INSTALADA POR FASE DE TRATAMENTO, EM SISTEMAS DE SBR	41
FIGURA 5.13 – POTÊNCIA INSTALADA POR FASE DE TRATAMENTO, EM SISTEMAS DE LM-FV	43
FIGURA 5.14 – POTÊNCIA INSTALADA NO TRATAMENTO SECUNDÁRIO	44
FIGURA 5.15 – POTÊNCIA INSTALADA NO T. SECUNDÁRIO, EM SISTEMAS LAAP	45
FIGURA 5.16 – POTÊNCIA INSTALADA NO T. SECUNDÁRIO, EM SISTEMAS SBR	45
FIGURA 5.17 – POTÊNCIA INSTALADA NO T. SECUNDÁRIO, EM SISTEMAS BFLM	46
FIGURA 5.17 – PERCENTAGEM DO SISTEMA DE AREJAMENTO NO TOTAL DA POTÊNCIA INSTALADA, POR TIPO DE TRATAMENTO	47
FIGURA 5.18 – DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA	48
FIGURA 5.19 – DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA POR FASE DE TRATAMENTO	49
FIGURA 5.20 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA POR FASE DE TRATAMENTO, CASO A7, LAAP	50
FIGURA 5.21 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA POR FASE DE TRATAMENTO, CASO A12, LAAP	50
FIGURA 5.22 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA POR FASE DE TRATAMENTO, CASO A13,LAAP	51
FIGURA 5.23 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA POR FASE DE TRATAMENTO, CASO A16,LAAP	51
FIGURA 5.24 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA POR FASE DE TRATAMENTO, CASO A17,LAAP	52

FIGURA 5.25 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA POR FASE DE TRATAMENTO, CASO C1	52
FIGURA 5.26 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA POR FASE DE TRATAMENTO, CASO D2	53
FIGURA 5.27 – DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA NO TRATAMENTO SECUNDÁRIO, CASO A7, LAAP	54
FIGURA 5.28 – DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA NO TRATAMENTO SECUNDÁRIO, CASO A12, LAAP	55
FIGURA 5.29 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA NO TRATAMENTO SECUNDÁRIO, CASO A13, LAAP	56
FIGURA 5.30 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA NO TRATAMENTO SECUNDÁRIO, CASO A16, LAAP	57
FIGURA 5.31 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA NO TRATAMENTO SECUNDÁRIO, CASO A17, LAAP	58
FIGURA 5.32 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA NO TRATAMENTO SECUNDÁRIO, CASO C1, BFLM	59
FIGURA 5.33 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA NO TRATAMENTO SECUNDÁRIO, CASO D2, LM – FV	60
FIGURA 5.34 – DISTRIBUIÇÃO DA PERCENTAGEM DO CONSUMO DE ENERGIA DO SISTEMA DE AREJAMENTO NO CONSUMO GLOBAL EM CADA CASO	60
FIGURA 5.35 - ENERGIA CONSUMIDA POR KG DE CB05 REMOVIDO, DO CASO 3.....	62
FIGURA 5.36 - ENERGIA CONSUMIDA POR KG DE CB05 REMOVIDO, DO CASO D2.....	63
FIGURA 5.36	ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 2.1 – NÍVEIS DE TENSÃO	14
QUADRO 2.2 - HORÁRIOS EM BAIXA TENSÃO	16
QUADRO 2.3 - HORÁRIOS EM MÉDIA TENSÃO.....	16
QUADRO 2.4 - OPÇÕES TARIFÁRIAS	17
QUADRO 2.5 – COMPOSIÇÃO DAS TARIFAS	18

ACRÓNIMOS e SIGLAS

AR19 – Utilização dos recursos energéticos;
AOTR – Taxa real de transferência de O₂;
CBO₅ - Carência bioquímica de oxigénio;
CQO – Carência química de oxigénio;
ETA - Estações de Tratamento de Água;
ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais;
LAAP – Lamas Ativadas Arejamento Prolongado;
LM-FV – Lagoas de Macrófitas de Fluxo Vertical;
LP – Leitos Percoladores
MBR- Membrane Biological Reactor;
MBBR - Moving Bed Biological Reactor;
N_{tot} - Azoto total;
OD – Oxigénio dissolvido;
OTE - Eficiência da transferência de oxigénio;
PEAASAR – Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais;
PNAEE - Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética;
RASARP - Relatório Anual do Sector de Águas e Resíduos em Portugal;
SBR – Sequencing batch reactor;
SST - Sólidos suspensos totais;
SSV - Sólidos suspensos voláteis.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

As ETAR urbanas destinam-se a realizar o tratamento das águas residuais, geradas nos aglomerados urbanos, sendo posteriormente devolvidas ao meio recetor final. Na maior parte das vezes este recetor é uma massa de água. Para preservar a qualidade destas massas de água, as águas residuais devem cumprir com valores limite de emissão dos principais poluentes aquáticos (CQO, CBO₅ SST, N_T e P_T). A eficácia numa exploração de uma ETAR consiste em garantir estes valores limites de emissão. No tratamento de águas residuais recorre-se a um conjunto de recursos (energia, reagentes químicos, mão de obra etc) que devem ser utilizados do modo mais eficiente.

O número de ETAR em Portugal tem vindo a aumentar, particularmente nos últimos anos, sendo que em 2009 o número de ETAR em Portugal Continental era de 1637, a que corresponde a um nível de tratamento de águas residuais de 72% da população portuguesa (INSAAR,2011), embora ainda longe do objetivo dos 90% de acordo com PEAASAR II (Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais), pelo que a sua exploração dum modo eficaz e eficiente constitui um desafio para o país.

Para assegurar a acessibilidade do serviço de saneamento de águas residuais a população portuguesa importa explorar os sistemas de drenagem e tratamento da forma mais eficiente possível, tendo presente que o tratamento constitui a maior parcela do custo deste serviço.

A análise económica de uma ETAR depende dos seus custos operacionais, custos de investimento e custos financeiros, sendo o custo total a adição destes. No presente trabalho, a análise centra-se nos custos operacionais, sendo estes aproximadamente 50% dos custos totais. Nos custos operacionais são contabilizados os custos de operação e custos de recursos humanos. Os custos de operação contêm a fatura de gastos como: serviços externos, energia elétrica, água, aquisição de reagentes químicos e aluguer de equipamentos e serviços. Esta fatura corresponde a 70% dos custos operacionais, sendo os restantes 30% para os recursos humanos, desses 70%, aproximadamente 20% são contabilizados com o consumo de energia elétrica. Deve-se então assegurar uma elevada eficiência energética, com a eletricidade, pois equivale a 7% do custo total. Nos custos operacionais estão ainda contabilizados: custos administrativos, custos de contabilidade, taxas, impostos e outros.

Desta forma a fatura energética é importante não só para a redução de custos como também no meio ambiente sustentável, devido a diminuição da dependência de combustíveis fósseis. Com o decréscimo de consumo elétrico garantimos uma quebra na emissão de gases com efeito de estufa, dependente da composição das fontes primárias de energia elétrica do país.

Esta preocupação ambiental é visível na orientação nº5 da Recomendação 2010/410/EU do Conselho da União Europeia em que foi proposto, como objetivos para 2020, a redução de 20% da emissão de gases, melhorar 20% na eficiência energética e aumentar em 20% a utilização de energias renováveis.

Em Portugal, o sector de água e resíduos tem uma entidade reguladora, ERSAR, que tem nos seus objetivos a sustentabilidade ambiental, e definiu indicadores de desempenho para o efeito, destacando-se os indicadores relativos à eficiência energética (AR19 e AA19 - primeira geração).

Em Portugal a percentagem de energia elétrica consumida nas ETAR é aproximadamente 0,4%, a que corresponde um valor da ordem dos 25 kWh/hab/ano. Assinale-se que a Suécia, país semelhante ao nosso em termos de população e dimensão das ETAR, apresenta um valor da ordem dos 100 kWh/hab/ano e a Alemanha, país com uma população e dimensão das ETAR bastante superiores a Portugal, tem um valor de 50 kWh/hab/ano (Robert e Mats, 2006).

No sentido de melhor entender o consumo de energia elétrica no tratamento de águas residuais, decidiu-se analisar 26 ETAR que estão a cargo de uma entidade gestora e correspondem a cerca de 85% do caudal de água residual tratado por essa mesma entidade, ou seja, cerca de 4% da água residual tratada no nosso país.

1.2 Objetivos do Trabalho

Dado o enquadramento do consumo energético intrínseco aos sistemas de tratamento de águas residuais e aos seus custos associados, este trabalho tem como objetivos quantificar e analisar o consumo energético de um conjunto de ETAR com diferentes tipos de tratamento biológico, recorrendo a um conjunto de indicadores de desempenho.

Para tal, para uma determinada entidade gestora, foram analisados relativos a um conjunto de 26 ETAR de várias dimensões e diferentes tipos de tratamento, nomeadamente, características de cada uma dessas instalações, composição da fatura energética (energia e potência) e composição do afluente e efluente final.

1.3 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação encontra-se subdividida em 5 capítulos.

No Capítulo 1, *Introdução*, é feita uma breve introdução sobre os custos associados ao consumo energético de uma ETAR, sendo ainda apresentados os objetivos do trabalho e a forma como a dissertação está organizada.

No Capítulo 2, *Conceitos Fundamentais sobre Energia*, é feita uma exposição pormenorizada do conceito energia, desde a sua cadeia de conversão até à noção de potência, fontes primárias e formas de energia. Neste capítulo encontra-se também descrito os sistemas de energia elétrica, a composição e descrição dos sistemas tarifários assim como as necessidades energéticas.

O Capítulo 3, *Utilização de Energia em ETAR*, descreve o consumo de energia elétrica ao longo do tratamento de águas residuais, descrevendo pormenorizadamente as necessidades energéticas das várias fases de tratamento, dando particular ênfase aos equipamentos responsáveis pelos principais consumos.

No Capítulo 4, *Casos de Estudo*, apresenta-se um conjunto de indicadores de desempenho os quais são objeto de cálculo para uma série de casos de estudo.

No Capítulo 5, *Conclusões*, apresentam-se as conclusões da dissertação e sugestões de estudos futuros.

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS SOBRE ENERGIA

2.1 Introdução

O conceito de energia pode levar a várias interpretações, de modo a obter uma pormenorizada e clara definição é alvo de um estudo aprofundado neste capítulo.

É dado a conhecer o complexo processo, desde o seu estado puro até a sua utilização para satisfazer as necessidades energéticas do homem, cadeia de conversão de energia. Ao expor a definição de energia são apresentados os variados tipos de energia que permitem satisfazer essas necessidades energéticas e surge outro conceito intrínseco à energia, a potência. A utilização de energia está associada, sendo cada vez mais um fator de extrema importância, a sua eficiência, não só devido aos custos inerentes como também a cuidados com o meio ambiente. Sendo que as suas fontes primárias podem ser classificadas como renováveis e não renováveis, e estas últimas, provocam graves impactos ambientais. Neste capítulo é demonstrado a evolução do consumo ao longo dos últimos anos, no nosso país, das diversas fontes de energia, mostrando uma forte dependência das fontes não renováveis, combustíveis fósseis. Mas um crescimento saliente das energias renováveis.

Para obter as suas necessidades saciadas, das fontes de energia surgem diversas formas de energia, que são aqui debatidas. Para este estudo é de maior relevância a energia elétrica, sendo ela a principal responsável numa fatura de uma ETAR. Assim sendo são apresentados e analisados os sistemas de energia elétrica e as correspondentes definições essenciais para a sua compreensão. Quando definidos os sistemas de energia elétrica surgem os seus tarifários, elemento fundamental no presente trabalho, com a discussão do mercado regulado e os diversos géneros de tarifas nele presente. A tarifa da eletricidade pode tornar-se complexa, tendo como encargos a potência e a energia, são expostas diversas definições com o objetivo de facilitar a compressão das tarifas, sendo esta diferenciada pelo nível de tensão, opção e período tarifário.

Estando as necessidades energéticas a influenciar todas as ações no nosso dia-a-dia, é realizada neste capítulo a distribuição do consumo de energia pelos vários sectores que caracterizam a nossa sociedade. Dando especial atenção ao sector da indústria onde surge o sector da água, que por sua vez está caracterizado pelos sistemas de abastecimento e saneamento, onde estão intrínsecas as águas residuais, tema do presente estudo.

2.2 Conceitos Fundamentais

2.2.1 Cadeia de conversão de energia

A energia é um bem essencial e fundamental no dia-a-dia do homem sendo um elemento vital em todas as economias. Nas atividades essenciais e comuns, o consumo de energia está sempre presente, seja na alimentação, no aquecimento ou nas deslocações diárias no quotidiano de cada um. Mas para o homem ter estas necessidades satisfeitas é necessária uma cadeia de conversão de energia. A oferta de energia implica a utilização de processos destinados a transformar as fontes primárias de energia em diversas formas de energia utilizadas pelos consumidores finais. O processo de conversão de energia inicia-se nas fontes primárias de energia e termina na satisfação de necessidades energéticas específicas (tais como transporte, domestico, comércio, indústria, etc) (Figura 2.1). A cadeia de conversão de energia inclui etapas como a extração, a transformação, o transporte, a distribuição, o armazenamento e a utilização de energia. De referir que durante os processos de conversão de energia ocorre (inevitavelmente) perdas de energia e a emissão de gases poluentes.

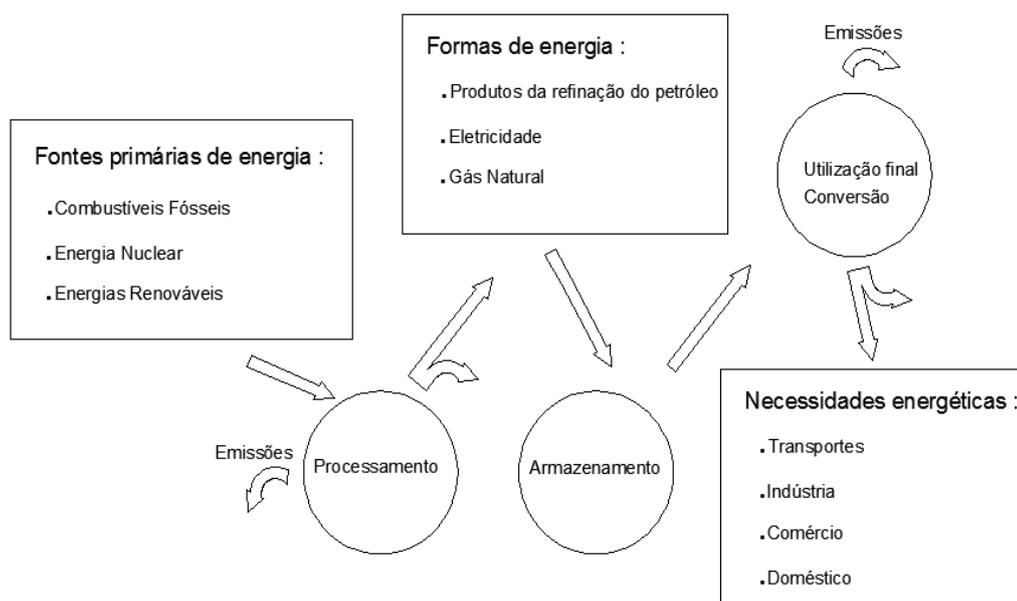


Figura 2.1 – Cadeia de conversão de energia

Maioritariamente as necessidades energéticas são satisfeitas pelos combustíveis fósseis, desempenhando as energias renováveis, até ao presente, um papel menos preponderante, embora seja previsível uma tendência para o seu reforço. De entre as energias renováveis, no nosso país, a energia hídrica desempenha um papel considerável na produção total de eletricidade (cerca de 15%) (EDP@, 2013).

2.2.2 Energia útil e energia dissipada

Devido à sua natureza abstrata, a energia não é um conceito de fácil definição. Quotidianamente, a palavra energia adquire diversos significados conforme o contexto. Em engenharia, ela apresenta uma grandeza que expressa a capacidade de corpos ou sistemas realizarem trabalho.

Em engenharia, a designação de energia correspondem a dois tipos fundamentais: a energia cinética que está associada ao movimento (por ex. à corrente elétrica no circuito) e a energia potencial que corresponde à energia armazenada em condições de poder ser utilizada (por ex. a energia acumulada numa bateria e nos combustíveis). A energia pode adotar diversas formas podendo transformar-se de uma forma noutra (conversão de energia), no entanto, ao fornecer energia a um sistema com uma determinada finalidade nem toda a energia é utilizada pelo sistema devido às perdas que ocorrem no processo de transferência de energia.

$$E_{\text{fornecida}} = E_{\text{útil}} + E_{\text{dissipada}} \quad (1)$$

A energia útil é a energia que é realmente utilizada durante a transferência. A energia dissipada é a energia que durante a transferência é “perdida”. A unidade de energia no sistema internacional é o Joule (J).

2.2.3 Potência

A potência define-se como a quantidade de trabalho (ou energia de uma força) realizado por unidade de tempo, o que equivale à velocidade de variação de energia num sistema. Um sistema com uma determinada energia, pode sentir necessidade de interagir com o seu meio envolvente, e essa interação dá-se por trocas de energia. Esta quantidade de energia envolvida na troca a cada segundo, pode variar de sistema para sistema. Assim, um sistema com maior potência capta ou envia mais energia por cada segundo que passa. Este valor é calculado em cada instante, pois pode variar se se alterarem as circunstâncias. Assim, a potência é igual à energia total dividida pelo tempo.

A potência é definida por:

$$P = \frac{dE}{dt} \quad (2)$$

em que P é a potência, E é a energia e t é o tempo. No sistema internacional de unidades, a potência exprime-se em Watt.

Podemos mencionar vários tipos de potência: a potência elétrica, que é o produto da diferença de potencial entre as extremidades de uma carga e a corrente elétrica ou a potência mecânica que se designa como o trabalho realizado por um indivíduo ou uma máquina num determinado período de tempo.

2.3 Fontes Primárias de Energia

As fontes de energia são de fundamental importância, na sociedade atual. O funcionamento das máquinas industriais e agrícolas, a necessidade de combustíveis nos automóveis e também os modelos de urbanização levaram a um aumento de procura de eletricidade. São características da sociedade moderna que a tornam altamente dependentes de recursos energéticos.

Nos moldes atuais a produção e consumo de energia recorrem às fontes primárias de energia tais como combustíveis fósseis, energia nuclear e energias renováveis. Os combustíveis fósseis são substâncias de origem mineral, e que resultam da decomposição de matéria orgânica e, encontram-se no subsolo. Existem três grandes tipos de combustíveis fósseis: o petróleo, o carvão e o gás natural.

O petróleo é um líquido espesso constituído maioritariamente por hidrocarbonetos inflamáveis. É um combustível versátil que depois de extraído, é transportado para refinarias onde é aquecido e destilado de modo a ser separado em componentes com diferentes pontos de ebulição. Do petróleo, obtêm-se gasolina, gasóleo e outros combustíveis, mas também matéria com diversas finalidades (resinas, poliéster). O petróleo tornou-se a principal fonte de energia: para além de não ser renovável, é um dos principais responsáveis pelo efeito de estufa e motivo de diversas guerras e conflitos entre países.

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos e, à temperatura ambiente permanece no estado gasoso. O gás natural é uma fonte de energia limpa que pode ser usada nas indústrias, substituindo outros combustíveis mais poluentes como os derivados do petróleo (gasolina e gasóleo) e carvão. O gás natural também pode ser utilizado na geração de energia elétrica.

O carvão mineral é constituído maioritariamente por carbono. Encontra-se em jazidas localizadas no subsolo e a sua extração dá-se através de mineração. O carvão, ao ser queimado, liberta elevadas quantidades de energia, que são aproveitadas pelas centrais termoelétricas na produção de energia elétrica.

A geração de energia a partir destas fontes provoca habitualmente poluição, contribuindo para o aumento do efeito de estufa e aquecimento global. Isto ocorre principalmente nos casos dos derivados de petróleo (diesel e gasolina) e do carvão mineral. Já no caso do gás natural, o nível de poluentes é bem menor.

A energia nuclear é uma fonte de energia limpa e renovável. A produção de energia nuclear baseia-se no elemento químico urânio. Ao desintegrar-se o urânio liberta grandes quantidades de energia. As centrais termonucleares têm como finalidade transformar essa energia em eletricidade. Embora não produza poluentes, a quantidade de resíduos nucleares gerados é um ponto negativo. Os acidentes em centrais termonucleares, embora raros, representam um grande perigo.

As energias renováveis, como por exemplo energia solar, hídrica e eólica, de biomassa, oceânica e geotérmica são fontes inesgotáveis de energia obtidas da Natureza. Aproveitar a energia solar significa utilizá-la diretamente para uma função, como seja aquecer um fluido (sistemas solares térmicos), promover a sua adequada utilização num edifício (sistemas solares passivos) ou produzir energia elétrica (sistemas fotovoltaicos). A energia eólica pode ser convertida em eletricidade através de turbinas eólicas ou aerogeradores. A energia eólica é nos dias de hoje uma das mais promissoras fontes de energia renováveis, principalmente na Europa e nos EUA. Atualmente, é a terceira principal fonte de abastecimento elétrico em Portugal, atrás da hídrica e das centrais de ciclo combinado a gás natural. A energia hídrica, resulta da transformação da energia potencial de uma massa de água em energia cinética de rotação de uma turbina hidráulica originando energia elétrica. A energia geotérmica da terra pode ser convertida em calor para aquecimento do ambiente ou da água.

Portugal é um país pobre quanto à disponibilidade das fontes de energia mais usuais com uma diferença acentuada para as renováveis, as chamadas fontes não renováveis, uma vez que não dispõe de poços de petróleo, minas de carvão ou depósitos de gás (como indica a Figura 2.2). No entanto, e no que respeita às fontes de energia renováveis o país tem um enorme potencial que pode e deve ser explorado. O nosso país contém uma rede hidrográfica relativamente densa, uma elevada exposição solar média anual, e dispõe de uma vasta frente marítima que beneficia dos ventos atlânticos, o que lhe confere a possibilidade de aproveitar o potencial energético da água, luz, das ondas e do vento. Estas condições únicas permitem ao país o aproveitamento de formas de energia alternativas ao consumo de combustíveis fósseis. Assim encontramos-nos numa posição privilegiada não só para compensar o défice de fontes de energia não renováveis e poluentes mas também para ser pioneiro na diminuição da dependência dessas energias, colocando-nos na liderança em termos do que habitualmente se denomina por desenvolvimento sustentável.

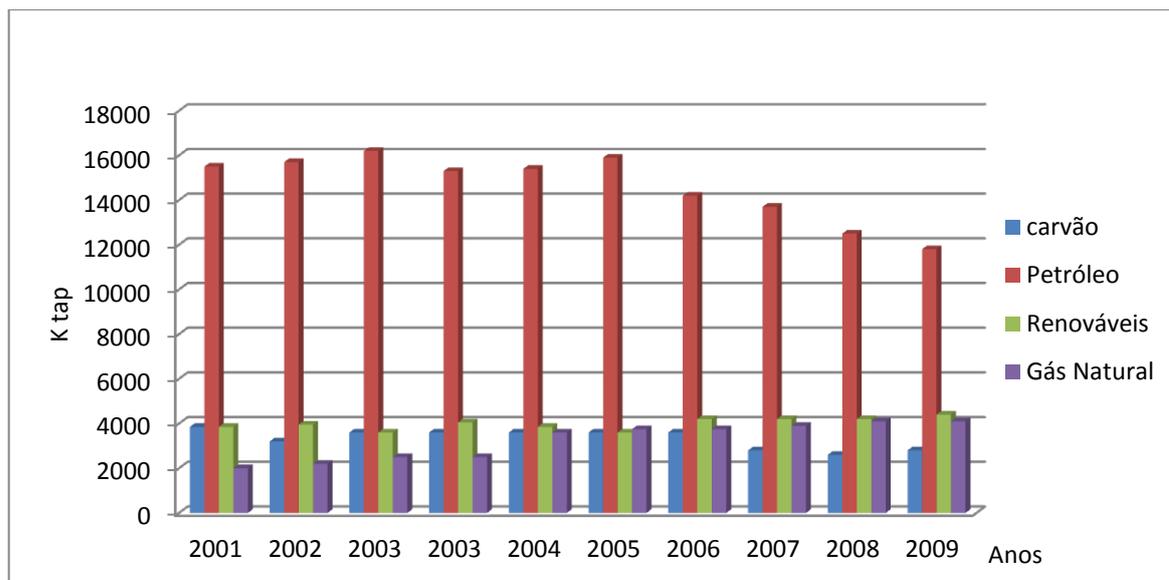


Figura 2.2 – Evolução do consumo de energia primária em Portugal (DGEG@,2012)

2.4 Formas de Energia

2.4.1 Produtos da refinação do petróleo

O petróleo é a fonte de energia mais utilizada no mundo e apresenta uma taxa de consumo exponencial. O petróleo no seu estado primário não tem aplicação direta. Para a sua utilização é necessário o processo de refinação. Assim, o petróleo é colocado em ebulição, do qual resultam os seus derivados mais conhecidos como a gasolina e o gasóleo. Tanto a gasolina como o gasóleo são constituídos principalmente por hidrocarbonetos. A gasolina é mais eficiente que o gasóleo devido às características dos seus hidrocarbonetos dando um melhor rendimento aos veículos. O gasóleo é mais poluente e, quando queimado liberta maiores concentrações de CO₂, mas a sua utilização é mais segura, pois torna-se apenas inflamável na presença de elevadíssimas temperaturas. O gasóleo é utilizado em motores de combustão interna, ou seja, a combustão dá-se pela compressão do ar que se encontra na câmara de combustão.

A cadeia produtiva contém mais três fases: transporte do petróleo no seu estado primário, refinação e distribuição. Os seus derivados passaram a ser utilizados como combustível para os meios de transporte, tendo assim um papel crucial no dia-a-dia, transformando-se assim na principal fonte da matriz energética mundial. O facto das reservas em exploração se encontrarem em países politicamente instáveis o torna o mercado do petróleo instável.

Atualmente, o uso de gasolina e de gasóleo no sector dos transportes corresponde a 90% da energia consumida e a 43% das emissões globais de CO₂.

2.4.2 Eletricidade e gás natural

A energia elétrica é uma das formas de energia mais utilizadas no mundo. A sua produção pode ser originada a partir de fontes renováveis e não renováveis. Ela é gerada, principalmente, em centrais hidroelétricas, eólicas, termoelétricas, solares e, nucleares entre outras.

A eletricidade é transportada e chega aos consumidores através de sistemas elétricos complexos, compostos por quatro fases: geração, transmissão, distribuição e consumo. A eletricidade tornou-se a principal fonte de calor, luz, «força» utilizada pelo homem no mundo atual.

A introdução do gás natural em Portugal, permite-nos um acesso a uma nova fonte de energia competitiva, cómoda e limpa. Portugal é caracterizado por não ter jazidas de gás natural, ou seja, não existe produção de gás natural em território nacional. Pelo que todo o gás armazenado e comercializado em Portugal provém de importações. O armazenamento em Portugal é realizado na forma de gás natural e gás natural liquefeito.

O gás natural pode ser amplamente empregue nas indústrias, residências, transportes e na geração de energia elétrica e calor. Mais recentemente o gás natural tem sido utilizado em projetos de cogeração, com alta eficiência energética na produção de eletricidade e calor. O gás natural apresenta uma menor contribuição de emissões de CO₂ em comparação com o petróleo e carvão.

2.5 Sistemas de Energia Elétrica

2.5.1 Tipos de corrente elétrica

Para uma melhor compreensão da corrente elétrica e dos sistemas tarifários é necessário ter presente alguns conceitos e definições. Nesta secção pretende-se introduzir os conceitos fundamentais associados aos sistemas elétricos.

Quando partículas eletricamente carregadas deixam de estar em equilíbrio electrostático, passamos para uma situação onde existe deslocamento destas cargas com uma determinada direção e sentido; a este deslocamento dá-se o nome de corrente elétrica. Os tipos de corrente elétrica são a corrente contínua e corrente alternada utilizada para alimentar os diversos equipamentos elétricos que utilizamos no nosso dia-a-dia. A diferença entre os dois tipos de corrente é o seu sentido. Se os eletrões se movimentam num único sentido, essa corrente é chamada de contínua. Se eles alteram de direção constantemente, estamos perante uma corrente alternada. Na prática, a diferença entre elas está na capacidade de transmitir energia para locais distantes, como acontece entre uma central elétrica e as habitações.

A corrente elétrica que passa num determinado fio num dado intervalo de tempo define-se como intensidade e mede-se em Ampere (A). A corrente elétrica é causada por uma diferença de potencial, sendo o potencial elétrico (P) a capacidade de um corpo que contém energia de realizar trabalho. A diferença de potencial entre dois pontos é a tensão elétrica (U). A potência elétrica (em Watt) pode ser definida como o produto da diferença de potencial (U) entre os terminais e a corrente (I) que passa através do dispositivo (corrente contínua):

$$P = U \times I \quad (3)$$

com I (ampere) o valor da corrente e U (volt) o valor da tensão. A potência elétrica também pode ser definida como o trabalho realizado pela corrente elétrica num determinado intervalo de tempo.

A corrente elétrica e a tensão não apresentam valores constantes, sendo que os seus valores são grandezas alternadas sinusoidais. No decorrer do tempo, os seus valores variam, adotando valores crescentes ou decrescentes, positivos ou negativos até descreverem uma curva sinusoidal. O conjunto da variação entre os valores negativos e positivos designa-se ciclo. Ao tempo que leva a decorrer esse ciclo dá-se o nome de período e ao valor máximo que a grandeza toma denomina-se amplitude.

Quando duas grandezas sinusoidais apresentam a mesma frequência, diz-se que estão em fase. Ao ocorrer com frequências diferentes diz-se que estão em defasagem. Esta grandeza mede-se em graus, sendo o valor de referência 360° equivalente a um ciclo.

A corrente elétrica alternada pode-se apresentar num sistema monofásico e trifásico. O sistema monofásico é um sistema em que há apenas uma fase e um neutro. Um motor monofásico trabalha apenas com duas linhas, podendo ser fase e neutro (monofásico) ou duas fases (bifásico). O sistema trifásico é o sistema mais usado atualmente, consiste em três bobinas desfasadas em 120° , que formam as três fases e o neutro (formado pela ligação entre os três "negativos" das bobinas), produzindo uma configuração chamada estrela. A tensão entre fase e neutro é igual à tensão entre as fases dividida pela raiz quadrada de 3. Ao contrário do motor monofásico, o motor trifásico é ligado usando as três fases. Para níveis de tensão com uma potência contratada igual ou superior a 13,8 kVA é necessário que a instalação seja alimentada por um sistema de tensões trifásico. Como se verá mais adiante, praticamente todos os casos de estudo apresentados se encontram nesta situação.

A potência a contratar para uma determinada instalação depende não só do número e da potência dos equipamentos existentes, mas também da forma como são utilizados e do escalão de potência a contratar. Quanto maior o número de aparelhos utilizados em simultâneo, mais potência é requerida. Para uma melhor compreensão da utilização da potência, apresentam-se as seguintes definições, para um sistema trifásico alternado:

- Potência ativa (P) - potência que realmente se transforma em potência mecânica, há todo o interesse que o valor da potência ativa se encontre muito próximo do valor da potência aparente, ou seja, que o valor do fator de potência se encontre perto de 1.

$$P = \sqrt{3} U \times I \times \cos \varphi \times 10^{-3} (\text{kW}) \quad (4)$$

- Potência reativa (P_r) - potência que não é utilizada, que não realiza trabalho. A potência reativa é utilizada para manutenção dos fluxos magnéticos nas máquinas elétricas.

$$P_r = \sqrt{3} U \times I \times \sin \varphi \times 10^{-3} (\text{kVAr}) \quad (5)$$

- Potência aparente (P_a) - potência total que é fornecida ao recetor.

$$P_a = \sqrt{3} U \times I \times 10^{-3} (\text{kVA}) \quad (6)$$

- Fator de potência - indica qual a percentagem da potência total fornecida (em kVA) que é efetivamente utilizada como potência ativa (em kW). Assim, o fator de potência revela o grau de eficiência do uso dos sistemas elétricos. Valores altos de fator de potência (próximos de 1,0) indicam um uso eficiente da energia elétrica, enquanto valores baixos evidenciam um mau aproveitamento, além de representarem uma sobrecarga para todo o sistema elétrico.

- Ângulo de Fase (φ)

$$\cos \varphi = \frac{P}{P_a} \quad (7)$$

A análise do triângulo (Figura 2.3) permite concluir que quanto maior for a potência reativa, maior será a potência aparente exigida ao gerador, o que equivale a um baixo fator de potência de instalação. O baixo fator de potência corresponde então a um elevado consumo de potência reativa que constitui um excesso de energia exigida ao gerador e uma sobrecarga para as linhas.

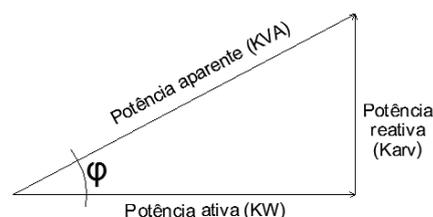


Figura 2.3 – Triângulo de potência

Para uma máquina operar é necessário um motor, que no caso de ser elétrico exige consumo de energia elétrica. Na área eletrotécnica define-se este tipo de energia como energia ativa. Mas um motor, para começar a trabalhar, requer também um campo magnético e este, para ser gerado, necessita de uma corrente magnetizante ou reativa, que produz energia reativa. A energia ativa é a energia tangível, que gera funcionamento de equipamentos elétricos e eletrônicos. É a energia que efetivamente que o homem consome e paga. A energia reativa não produz trabalho direto mas é importante para criar fluxo magnético em bobinas, transformadores, geradores e equipamentos afim. Existem dois subtipos de energia reativa: o reativo indutivo e o reativo capacitivo. O primeiro, o indutivo, é consumido pelo cliente, através de geração de campo magnético para funcionamento de certos equipamentos da empresa. O segundo tipo, é retornado à rede elétrica externa.

2.5.2 Sistemas Tarifários

Para a comercialização da energia elétrica existe um mercado regulado, onde a EDP Serviço Universal (empresa do Grupo EDP) compra e vende energia elétrica. Esta empresa apresenta-se como comercializador de último recurso e é da sua responsabilidade fornecer energia elétrica a todos os consumidores, desde que seja requerida, mesmo quando existem outros fornecedores no mercado. A Entidade Reguladora de Serviços Energéticos (ERSE) regula o mercado e aprova as tarifas aplicadas na venda aos clientes finais.

As tarifas aplicadas pela EDP são estimadas pelas tarifas por atividade de acesso às redes, das tarifas reguladas de energia e de comercialização. Nas tarifas de acesso às redes estão incluídas as tarifas de uso global do sistema, de uso da rede de transporte e de uso da rede de distribuição. Existe um conjunto de regras, opções tarifárias, horários e preços que comandam a faturação. Todas estas tarifas são reguladas pela ERSE e pagas pelos consumidores de energia elétrica.

As tarifas podem dividir-se em dois grupos: tarifas estáticas e dinâmicas. Nas primeiras os níveis de preços de energia e potência mantêm-se constantes durante um período de tempo (sensivelmente um ano) e são baseadas em previsões. Nas tarifas dinâmicas os preços variam com o nível de procura, pelo que não é necessário identificar as chamadas horas de ponta (definição apresentada posteriormente). Os consumidores sentem diretamente as variações dos preços de energia e assim devem adaptar as melhores taxas para os seus consumos.

As tarifas de venda a clientes finais são diferenciadas por nível de tensão e pelo modelo de opção tarifária. As tarifas são binomiais, refletem encargos com a energia e potência. O preço da energia pode variar consoante o nível de tensão de entrega, opção tarifária e período tarifário. Os preços de potência são diferenciados consoante o nível de tensão de entrega e a opção tarifária.

De modo a poder contabilizar e regular melhor a energia elétrica são criados os escalões de tensão para os clientes, indicados no Quadro 2.1:

Quadro 2.1 – Níveis de tensão

Clientes	Níveis de tensão
Baixa tensão (BT)	<1 KV
Média tensão (MT)	>1 KV e <=45 KV
Alta tensão (AT)	>45 KV e <=110 KV
Muito alta tensão (MAT)	>110 KV

Em Portugal, pode afirmar-se que existem quatro níveis de redes. As linhas de muito alta tensão constituem os principais elos da rede elétrica; são as ligações mais extensas e apresentam os níveis de tensão mais elevada. Relativamente às linhas de alta tensão, elas estabelecem a ligação entre os pontos de muito alta tensão e os centros produtores às subestações. As linhas de média tensão ligam as subestações aos postos de transformação ou fazem a ligação entre diferentes postos de transformação. Por último as linhas de baixa tensão fazem a ligação dos postos de transformação até ao consumo final. A utilização mais usual é em baixa tensão e média tensão.

O escalão de baixa tensão representa normalmente os clientes residenciais, escritórios e pequenas empresas. Sendo o escalão mais requisitado do mercado, apresenta diferentes tarifários, nomeadamente uma tarifa social que se destina a clientes economicamente mais carenciados. Em relação à baixa tensão pode-se efetuar uma distinção entre baixa tensão normal e baixa tensão especial. A baixa tensão normal está ainda subdividida em dois casos, consoante a potência contratada, existindo um escalão até aos 20,70 KVA, correspondente normalmente a clientes residenciais, e um escalão entre os 20,7 KVA e os 41,4 KVA. A baixa tensão especial é utilizada nos casos de clientes necessitam de potências superiores a 41,4 KVA. Sendo a média tensão normalmente aplicada nos espaços comerciais e nas instalações industriais.

Existindo diversas alternativas na compra de energia elétrica é necessário explicar a estrutura de uma tarifa. Assim é fundamental expor os escalões de tensões, os conceitos de ciclo diário e ciclo semanal, os diversos períodos de contratação e os ciclos de inverno e verão.

O consumo de energia durante o ano e ao longo do dia não se mantém constantes, variando consoante as necessidades do quotidiano. Assim sendo, os tarifários apresentam, para todos os escalões de tensão, dois ciclos: o diário e o semanal. No ciclo semanal existe a distinção entre dias úteis e fim-de-semana. No ciclo diário os dias são iguais ao longo do ano. Nos sistemas tarifários está também presente a diferença de horário de Inverno e horário de Verão. Esta separação de datas realiza-se de acordo com a hora definida por decreto lei. O horário de Inverno tem início no último domingo de Outubro e termina no último sábado de Março, o

horário de Verão é correspondente ao tempo restante. Existe ainda uma divisão por trimestres do ano:

- Período I: 1 Janeiro – 31 Março
- Período II: 1 Abril – 30 Junho
- Período III 1 Julho – 30 Setembro
- Período IV: 1 Outubro – 31 Dezembro

Esta última separação é de extrema importância na faturação de energia nas tarifas de média tensão como se poderá observar ao longo deste capítulo.

As diferenças entre os dois ciclos expostos anteriormente encontram-se na classificação das 24 horas ao longo de um dia, sendo classificadas com base nas horas fora de vazio e horas de vazio. As horas de vazio correspondem às horas de menor consumo normalmente no período noturno e fins-de-semana. São constituídas por horas de vazio normal e horas de super vazio. Nestas horas o valor comercial da energia (€/kWh) é mais atrativo para o cliente. As horas de maior consumo são as horas fora de vazio, que compreendem as horas de ponta e de cheia. As horas fora de vazio encontram-se durante o dia, onde há uma maior procura de energia à rede. A diferença entre horas de ponta e de cheia é que a duração do período de ponta é menor e destina-se a definir os picos de consumo, normalmente no início e no final do dia, sendo as restantes horas, ao longo do dia consideradas de cheia. Nenhuma destas horas tem um horário definido e fixo, variando consoante o seu ciclo, períodos de verão ou inverno e também de acordo com os diferentes escalões de tensão. Nas horas de ponta e cheia são aplicados os preços mais elevados.

O Quadro 2.2 apresenta a carga horária ao longo do dia nos diferentes ciclos em Baixa Tensão. Na contratação de Baixa Tensão Normal, com ciclo diário, tem-se ao longo de um dia sempre 10 horas de vazio seja no horário de Inverno ou no de Verão. Este ciclo destina-se a um consumo de eletricidade mais homogéneo ao longo da semana. A escolha de ciclo semanal contém 76 horas de vazio por semana, em que de segunda a sexta-feira, existem 7 horas de vazio por dia, enquanto que aos sábados esse valor é de 17 horas e aos domingos é de 24 horas. A diferença entre o horário de Inverno e de Verão encontra-se no número de horas de cheia, o horário de Inverno apresenta menos 2 horas neste período, o que leva a mais 2 horas de ponta, ou seja, o horário de Inverno torna-se mais dispendioso, correspondendo ao período do ano onde há uma maior procura de energia por parte dos clientes.

Quadro 2.2 - Horários em Baixa Tensão

Baixa Tensão		Inverno			Verão			
		Horas de Vazio		Horas fora de vazio		Horas de Vazio		Horas fora de vazio
		Vazio		Cheia	Ponta	Vazio	Cheia	Ponta
Ciclo Semanal	2ª a 6ª	7h		12h	5h	7h	14h	3h
	Sábado	17h		--	7h	17h	--	7h
	Domingo	24h		--	--	24h	--	--
Ciclo Diário		10h		10h	4h	10h	10h	4h

O Quadro 2.3 apresenta a carga horária ao longo do dia nos diferentes ciclos em Média Tensão. No caso da média tensão têm-se quatro períodos distintos (tetra horária), através da introdução do conceito de super vazio. A soma do número de horas de super vazio e vazio vai corresponder ao total de horas de vazio no da baixa tensão. No escalão de média tensão o número de horas de super vazio no ciclo diário e no ciclo semanal é de 4 horas, seja no Inverno ou no Verão. O ciclo diário é igual no Inverno e no Verão caracterizando-se pelo maior número de horas do dia (10 horas) se encontrar no período de cheia. A diferença do número de horas no ciclo semanal, entre Inverno e Verão, é igual á da Baixa tensão, ou seja, Inverno com mais 2horas de ponta (mais dispendioso para os clientes). De referir que os sábados apresentam 13 horas de vazio e 4horas de super vazio e os Domingos 20 horas de vazio sendo as restantes de super vazio. Este ciclo semanal favorecerá, quem utiliza com maior intensidade eletricidade aos fins-de-semana.

Quadro 2.3 - Horários em Média Tensão

MédiaTensão		Inverno				Verão			
		Horas de Vazio		Horas fora de vazio		Horas de Vazio		Horas fora de vazio	
		Vazio	Super vazio	Cheia	Ponta	Vazio	Super vazio	Cheia	Ponta
Ciclo Semanal	2ª a 6ª	3h	4h	12h	5h	3h	4h	14h	3h
	Sábado	13h	4h	7h	--	13h	4h	7h	--
	Domingo	20h	4h	--	--	20h	4h	--	--
Ciclo Diário		6h	4h	10h	4h	6h	4h	10h	4h

O Quadro 2.4 apresenta uma lista das diferentes opções tarifárias inseridas nos diversos escalões de nível de tensão.

Quadro 2.4 - Opções tarifárias

Nível de Tensão	Limites da Potência Contratada	Opções Tarifárias	Potência e Termo Tarifário	Energia Ativa		Energia Ativa	
				Períodos Trimestrais	NºPeríodos Horários	Energia Indutiva	Energia capacitiva
Baixa Tensão Normal	1.15 a 2.3 KVA	Tarfia Social	a	-	1	-	-
	1.15 a 20.7 KVA	Tarfia Simples	a	-	1	-	-
	3.45 a 20.7 KVA	Tarifa Bi-Horária	a	-	2	-	-
	27.6 a 41.4KVA	Tarifa Simples (*)	a	-	1	-	-
	27.6 a 41.4KVA	Tarifa de Médias Utilizações	a	-	3	-	-
	27.6 a 41.4KVA	Tarifa de Longas Utilizações	a	-	3	-	-
	3.45 a 20.7 KVA	Tarifa Sanzonal Simples	a	-	1	-	-
	3.45 a 20.7 KVA	Tarifa Sanzonal Bi-Horária	a	-	2	-	-
Baixa Tensão Especial	>41.4KW	Tarifa de Médias Utilizações	x	-	3	x	x
	>41.4KW	Tarifa de Longas Utilizações	x	-	3	x	x
Média Tensão		Tarifa Tetra-Horária de: Curtas utilizações	x	x	4	x	x
		Médias utilizações	x	x	4	x	x
		Longas utilizações	x	x	4	x	x
Alta Tensão	>= 6MW	Tarifa de Curtas Utilizações	x	x	4	x	x
	>= 6MW	Tarifa de Médias Utilizações	x	x	4	x	x
	>= 6MW	Tarifa de Longas Utilizações	x	x	4	x	x
Muito Alta Tensão	>= 25MW	Tarifa Única	x	x	4	x	x

Como já foi referido anteriormente as faturas de eletricidade são compostas por duas grandezas a energia e a potência.

A faturação da energia é dividida pela energia ativa e pela energia reativa. O preço (€/kWh) da energia ativa exigido ao cliente, encontra-se definido em função do nível de tensão, da opção tarifária e do número de períodos horários nos casos de Baixa tensão normal e Baixa tensão especial. Nos escalões acima, Média tensão, Alta tensão e Muita Alta tensão o preço da energia ativa exigido aos clientes vai depender ainda dos períodos trimestrais. A energia reativa (€/kvarh) não é faturada em baixa tensão normal, situação de clientes residenciais, dado que o seu valor não é relevante. Só existe faturação da energia reativa em fornecimentos de Baixa Tensão Especial, Média tensão, Alta tensão e Muita Alta tensão. A energia reativa fornecida à rede (energia capacitiva) nas horas de vazio, e a energia fornecida pela rede (energia indutiva) quando se encontra nas horas fora do vazio e excede os 40% da energia ativa consumida nesse intervalo também deverão ser faturadas. A faturação de energia reativa só deve iniciar-se 8 meses após o fornecimento.

Na faturação da parcela, referente à potência (€/kW. mês) também existem diferenças dependentes do nível de tensão da tarifa contratada (Quadro 2.5). No caso de Baixa Tensão normal os encargos com a potência contratada são a contratação, leitura, faturação e cobrança que estão definidos para cada opção do tarifário. Na contratação de potência para Muito Alta Tensão, Alta Tensão, Média Tensão e Baixa Tensão Especial existe uma diferença de preços aplicados à potência contratada e à potência de hora de ponta, sendo de referir que esta última é muito mais dispendiosa. A potência contratada tem de ser superior a 50% da potência

instalada (é o valor do somatório de todos os transformadores). De referir que o valor da potência a contratar é atualizado para o valor máximo da potência ativa média registada num intervalo ininterrupto de 15 minutos durante os últimos 12 meses.

Quadro 2.5 – Composição das Tarifas

	Tarifa de Potência *	T.Potência em horas de Ponta	Tarifa de Energia	
			Energia Ativa	Energia Reativa
BT	x	--	x	--
BTE	x	x	x	x
MT	x	x	x	x
AT	x	x	x	x
MAT	x	x	x	x

Existe legislação para penalizar o excesso do uso da energia reativa, pois ao retornar à rede, vai sobrecarregar a rede elétrica e acaba por perturbar o sistema elétrico nacional.

Compensar a energia reativa é, então, reduzir o ângulo, aumentando o seu cosseno. Quanto maior for o $\cos \varphi$, ou seja, quanto mais este valor se aproximar da unidade, maior será a potência ativa que poderá ser transportada pela rede, cuja capacidade máxima é a potência aparente. Como acontece com a energia ativa, a energia reativa é fornecida por uma central elétrica e conduzida através da rede. Mas existe uma outra fonte de energia reativa muito acessível e fácil de instalar, o condensador elétrico. As vantagens da compensação da energia reativa são as reduções de perdas, aumento da capacidade elétrica da instalação, poupança na fatura de eletricidade, a melhoria da tensão da rede e diminuição dos gases com efeito de estufa.

2.6 Necessidades energéticas

2.6.1 Sectores

A energia será muito provavelmente o principal fator condicionante dos possíveis modelos de desenvolvimento futuro à escala global, nacional e regional. A energia elétrica apresenta uma importância fundamental para o desenvolvimento da sociedade atual. A eletricidade pode ser convertida para gerar luz, alimentar motores ou fazer funcionar diversos produtos elétricos que contemos nas nossas casas.

De acordo com a DGEG, desde o início da década de noventa, o consumo de energia final cresceu 3,2% ao ano, cerca de sete décimas acima da taxa de crescimento média do PIB registada nesse período (DGEG@,2012).

O consumo de energia elétrica praticamente triplicou em 20 anos, sendo o seu valor no ano de 2010, aproximadamente 50 GW. Na Figura 2.4, esta representado o consumo de energia elétrica por sector no ano de 2010 (PORDATA @, 2013). Os sectores da habitação e dos transportes foram, nos últimos anos, os que mais aumentaram o seu consumo.

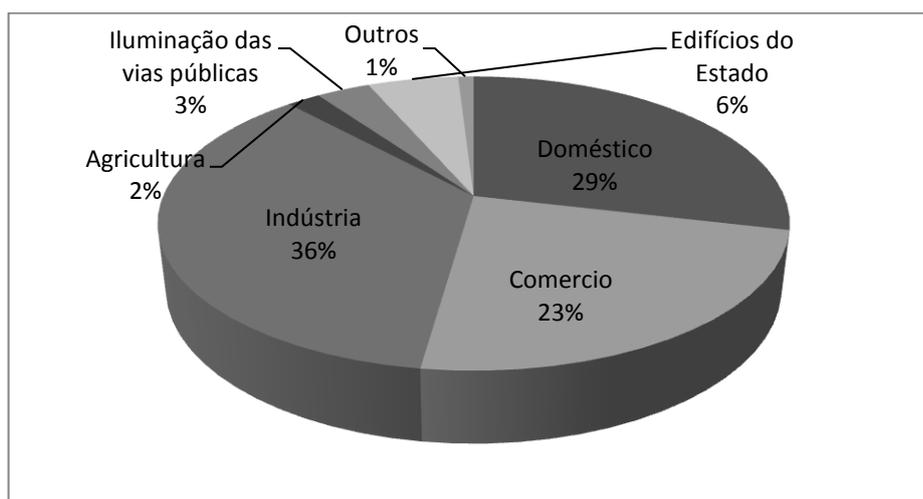


Figura 2.4 – Consumo de energia elétrica por sector 2010 (kWh)

2.6.2 No sector dos serviços de água e resíduos

Como foi referido anteriormente o setor da indústria é o maior responsável pelo consumo de energia elétrica. O sector de serviços de água e resíduos está nele inserido.

O sector de águas e resíduos pode dividir-se em dois subsectores distintos: o dos serviços de águas e o dos serviços de gestão de resíduos (Figura 2.5).

Os serviços de água e resíduos têm sido classificados segundo as designações de alta e baixa, consoante as atividades realizadas pelas várias entidades gestoras. Esta classificação, que esteve no cerne da criação dos chamados sistemas multimunicipais, responsáveis na maioria pela alta, e dos sistemas municipais, os maiores responsáveis pela baixa, corresponde, respetivamente as atividades grossista e retalhista dos sectores de abastecimento de água, saneamento de águas residuais urbanas e a gestão de resíduos urbanos. O sector divide-se em dois serviços distintos, embora complementares no âmbito do saneamento básico, abrangendo os serviços de abastecimento de água para consumo humano e de saneamento de águas residuais urbanas.

No serviço de abastecimento de água são designados por sistemas em alta, os encarregados da captação, do tratamento e venda de água aos sistemas em «baixa», responsáveis pela sua distribuição às populações. A atividade de saneamento de águas residuais urbanas compreende a recolha, o transporte e o tratamento das águas residuais de origem urbana, bem como a sua descarga no meio hídrico. Neste serviço, os sistemas municipais pela atividade em baixa, que corresponde a recolha e drenagem para os sistemas multimunicipais, cuja atividade em alta consiste no tratamento de águas residuais, eliminação de resíduos (lamas) e sua valorização.

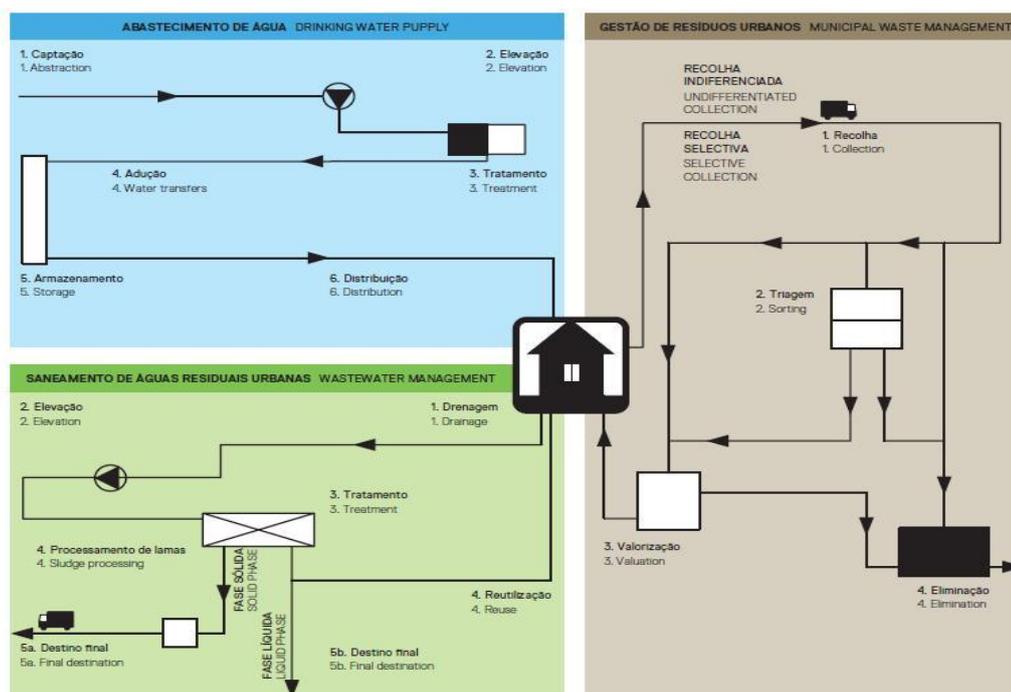


Figura 2.5 – Atividades no sector da água e resíduos (Abastecimento, saneamento de águas residuais e gestão de resíduos) (ERSAR, 2011)

Considerando uma captação de águas residuais de 55 m³/hab/ano, 72% de população de sistemas de tratamento de águas residuais e o fator de afluência e as afluências pluviais indevidas, o volume de águas tratadas é da ordem dos 400 milhões m³/ano. Utilizando o valor médio do indicador de desempenho, AR19 (em “Alta”), de 0,43 kWh/m³ (este indicador apresenta um intervalo de variação de 0,05 a 0,76 kWh/m³, sendo o valor mais baixo pertencente à SANEST, concessionária do sistema multimunicipal da Costa do Estoril) (ERSAR,2011), a quantidade total de energia consumida nas ETAR apresenta um valor próximo dos 172 milhões kWh/ano. Tendo em consideração a quantidade de energia consumida no nosso país em 2010, aproximadamente 50 GWh, a percentagem de energia elétrica consumida nas ETAR é aproximadamente 0,4%, ou seja, cerca de 1% do consumo da indústria.

3. UTILIZAÇÃO DE ENERGIA EM ETAR

3.1 Introdução

Após o conhecimento exposto no capítulo anterior relativamente a conceitos fundamentais de energia, em particular energia elétrica e o seu custo, é de agora útil conhecer as necessidades energéticas das ETAR em termos de consumo de energia elétrica.

As ETAR são constituídas por duas linhas de tratamento, uma correspondente à fase líquida e outra à fase sólida (lamas), sendo compostas por operações e processos de tratamento.

Cada uma das fases é constituída por um conjunto de equipamentos, para cujo acionamento se recorre a energia elétrica. O consumo de energia elétrica é proporcional à potência e ao tempo de funcionamento.

O objetivo do presente capítulo é caracterizar as operações e processos de tratamento, os equipamentos a eles associados.

3.2 Utilização Global

A utilização de energia no tratamento de águas residuais pode variar significativamente dependendo da localização da ETAR, características da água residual a tratar, nível de tratamento, tipos de operações e processos no tratamento utilizados e seu modo de operação.

De um modo geral, sistemas simples de tratamento de águas residuais como sistemas de lagunagem e sistemas de macrófitas encontram-se entre os sistemas com menor consumo energético. Na Figura 3.1 apresenta-se o perfil do consumo típico de energia em ETAR com tratamento secundário e tratamento de lamas (WEF, 1997). Genericamente as ETAR com maiores graus de tratamento, por isso mais complexas, consomem maiores quantidades de energia. Os equipamentos que consomem mais energia são bombas hidráulicas, sopradores, arejadores mecânicos e sistemas de desidratação de lamas.

De entre os fatores que afetam tanto a potência instalada como o tempo de funcionamento, em consequência a utilização de energia, destacam-se a localização, a dimensão da ETAR, o grau de poluição das águas residuais, o tipo de tratamento e o modo de operação (Robert e Mats, 2006).

De seguida apresenta-se uma descrição da utilização de energia nos processos mais comuns usados em ETAR destinadas ao tratamento de águas residuais urbanas (WEF, 1997).

Na Figura 3.1 apresentam-se os principais consumidores de energia elétrica ao longo do processo de tratamento, estando identificados os sistemas de bombeamento, o tratamento primário, o tratamento secundário e o tratamento de lamas.

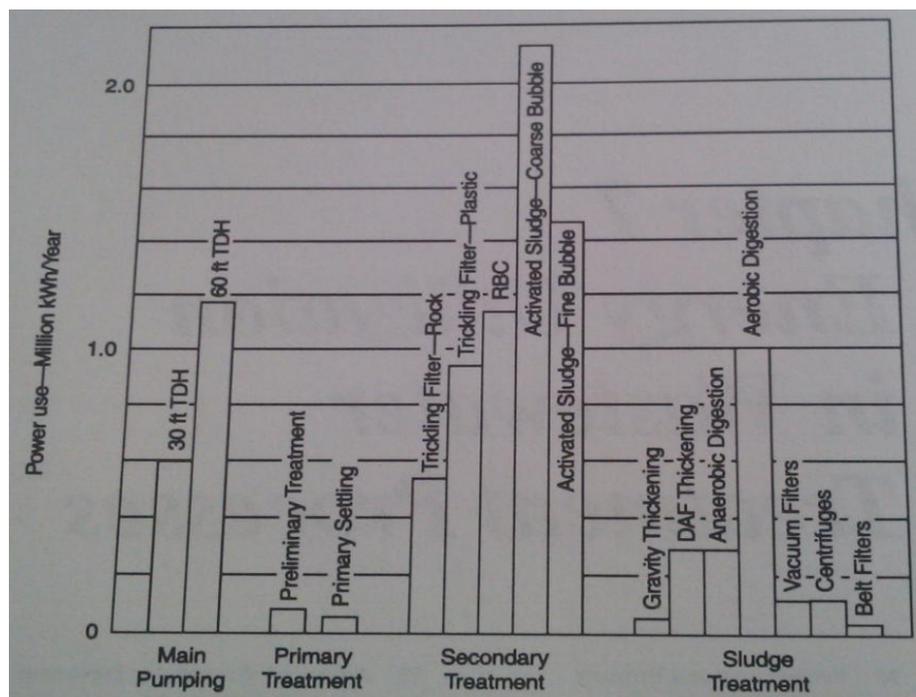


Figura 3.1- Principais consumidores de energia elétrica no processo de tratamento (WEF, 1997).

3.3 Utilização em Operação e Processos de Tratamento

3.3.1 Tratamento preliminar e primário

O tratamento preliminar compreende a obra de entrada na estação de tratamento e é constituído geralmente por três etapas: gradagem, desarenação e desgorduramento.

O tratamento preliminar tem por objetivo impedir o desgaste dos equipamentos e prolongar o seu período de vida útil, assim como garantir o correto funcionamento da instalação nas restantes etapas do processo de tratamento.

Quando as águas residuais chegam à ETAR são sujeitas a um processo onde os sólidos de maior dimensão são removidos, gradagem. Esta operação necessita de um sistema de limpeza, que pode ser acionado manualmente ou mecanicamente, necessitando este último caso de um acionamento elétrico, apresentado um funcionamento periódico no tempo, podendo o seu funcionamento ser por temporização ou por medidores de nível. O consumo de energia requerido na gradagem mecânica é, regra geral, insignificante quando comparado com o consumo de energia total numa ETAR.

A par do processo de gradagem pode proceder-se à remoção dos denominados «sólidos finos», processo este designado por tamisagem. Tal como na gradagem também aqui não se verifica dispêndio de quantidades de energia significativas.

Na desarenação existem dois tipos de desarenadores os arejados e não arejados. Os desarenadores arejados estão equipados com sopradores responsáveis pela insuflação de ar que necessitam de uma quantidade de energia elétrica não desprezável, enquanto os sistemas não arejados consomem uma pequena quantidade de energia apenas necessária para a remoção de areias do fundo do desarenador, como consumidor de energia elétrica.

Na remoção de óleos e gorduras, o desengorduramento é feito por flotação com insuflação de ar ou não. Nos sistemas que não necessitam de fornecimento de ar, o seu consumo elétrico é apenas contabilizado pela ponte raspadora, enquanto nos sistemas com insuflação de ar a necessidade adicional de sopradores leva ainda um maior consumo de energia elétrica.

O tratamento preliminar pode ainda conter um tanque de homogeneização e/ou equalização, com o objetivo de diminuir as variações de afluência de carga e caudal afluente à ETAR. Os equipamentos utilizados, agitadores mecânicos ou sistemas de insuflação de ar, são os responsáveis pelo consumo de energia, preferindo-se a insuflação de ar quando se pretende evitar odores ofensivos.

Assim, e embora se tenha verificado nos últimos anos um aumento do consumo energético na fase do tratamento preliminar, pela introdução de um maior número de equipamento, estes trouxeram um conjunto de benefícios: aumento de eficiência na remoção de gradados, areias e gorduras, diminuição de intervenções de manutenção nas restantes etapas de tratamento, diminuição do tempo despendido pelas equipas de operação nesta fase de tratamento, redução dos custos com encaminhamento a destino final com subprodutos (gradados, areias e gorduras), resultando em grande parte da redução do seu teor de humidade.

As águas residuais à entrada da ETAR ou após o tratamento preliminar podem ser elevadas para as fases de tratamento subsequentes. As bombas hidráulicas responsáveis pela elevação consomem uma quantidade de energia que depende dos caudais afluentes e da altura de elevação. Os sistemas de bombeamento representam uma parcela importante no consumo de

energia das ETAR, pelo que devem merecer atenção no âmbito de gestão energética em ETAR.

No tratamento primário, quando ocorre, os sólidos sedimentáveis são separados por sedimentação gravítica, enquanto que os materiais menos densos que a água, são removidos por flotação (escumas). Nesta etapa de tratamento consome-se energia na elevação das lamas primárias, no raspador de fundo e superfície, os raspadores tem um consumo pouco relevante de energia, pois são equipamentos com potências inferiores a 1kW.

A existência de tratamento primário ao reduzir cerca de 25% a 40% a carga de CBO_5 e 50% a 65% dos sólidos suspensos totais reduz a carga poluente afluente ao tratamento biológico resultando numa economia nos custos de operação, uma vez que o processo de tratamento biológico é mais intensivo no consumo de energia.

3.3.2 Tratamento biológico

Após as fases de tratamento preliminar e primário, a água residual afluente ao tratamento secundário é na sua maioria constituída por matéria orgânica coloidal, matéria orgânica dissolvida, nutrientes, como azoto e fosforo e sólidos inorgânicos dissolvidos.

Para reduzir a quantidade de matéria orgânica e nutrientes existe um conjunto de diversos variantes de tratamento, podendo estes métodos ser organizados em duas grandes quantidades de processos, sistemas de biomassa fixa e biomassa suspensa. Os sistemas de biofilme mais comuns como os leitos percoladores (Figura 3.2a)) e os biodiscos (Figura 3.2b)) utilizam quantidades modestas de energia no arejamento embora necessitem de esquemas de recirculação de água sujeita a tratamento que consomem energia através do bombeamento. Processos de biofilme mais recentes como leito móvel (MBBR) (Figura 3.3 a)) já apresentam maiores consumos de energia uma vez que eles estão equipados com sistemas de arejamento à semelhança dos sistemas de lamas ativadas, embora normalmente de bolha grossa.

Utiliza-se também energia no processo de elevação de lamas embora seja de registar que estes sistemas produzem menores quantidades de lamas como os processos de biomassa suspensa, nomeadamente as lamas ativadas.



Figura 3.2 – a) Sistema do tipo leito percolador b) Sistema do tipo Biodiscos

Os processos de biomassa suspensa mais conhecidos por lamas ativadas (Figura 3.3b)), consomem uma energia significativa nos sistemas de arejamento, seja por sistemas de bolha fina ou por arejamento mecânico, representando uma parcela significativa do consumo de uma ETAR, por vezes cerca de 50%.



Figura 3.3 – a) Sistema do tipo MBBR e b) Sistema convencional de lamas ativadas

Nos sistemas lamas ativadas mais recentes como os sistemas do tipo MBR (reator biológico com membranas imersas) (Figura 3.4 a)) que utilizam membranas para a separação de água residual tratada da biomassa, os consumos de energia são ainda superiores devido à existência de um sistema adicional de insuflação de ar para a limpeza das membranas. Os sistemas de lamas ativadas destinados á remoção de azoto por nitrificação/desnitrificação, exigem caudais de recirculação significativos com consumos de energia associados relevantes.

Sistemas de lamas ativas como os reatores sequenciais descontínuos do tipo SBR (Figura 3.4b)), onde as fases de tratamento são realizadas num único tanque, utilizam uma quantidade significativa de energia uma vez que se encontram equipados com uma grande quantidade de equipamentos (bombas hidráulicas, arejadores, agitadores) acionados por energia elétrica. Uma vez que as fases (reação) onde se procede a remoção dos poluentes da água residual, ocupam apenas uma fração do dia, as potências associadas aos equipamentos têm que ser mais elevadas para as mesmas cargas poluentes relativamente aos sistemas convencionais de lamas ativadas.



Figura 3.4 – a) Sistemas do tipo MBR e b) Sistema do tipo SBR

3.3.3 Tratamento terciário

O tratamento terciário inclui normalmente a desinfecção e tratamentos para redução adicional de sólidos em suspensão, nutrientes e compostos orgânicos refratários. A remoção de nutrientes já foi referida anteriormente, enquanto dos restantes vai ser focado a desinfecção pela sua maior relevância nas ETAR urbanas.

A etapa que compreende a desinfecção do efluente final ocorre após o término do tratamento biológico. No passado os métodos mais utilizados baseavam-se na adição de cloro gasoso, particularmente nas ETAR de maior dimensão e de hipoclorito de sódio nas ETAR mais pequenas. Atualmente devido á preocupações da formação de subprodutos resultantes da desinfecção com cloro – trialometanos -, privilegiam-se os sistemas por à radiação ultra violeta (UV) e sistemas com recurso a utilização de ozono. Os sistemas de lamas ativadas do tipo MBR não necessitam de desinfecção final uma vez que a utilização de membranas com poro efetivo na gama da ultrafiltração produz um efluente final de elevada qualidade microbiológica.

Todos os métodos referidos anteriormente necessitam de equipamentos eletromecânicos de modo a realizarem o seu objetivo. Caso se opte pela ozonização são requeridos um maior número de equipamentos em comparação com os processos clássicos de desinfecção baseados no cloro, nomeadamente compressor, «secador de ar», gerador de ozono e uma bomba para o fornecimento de água de diluição. No caso de utilização da radiação UV será apenas necessário proceder a instalação das lâmpadas UV, sendo que estas podem ser instaladas em canal aberto ou em reator fechado. A eficiência das lâmpadas UV no reator fechado é superior dado que existe uma menor dispersão da radiação UV.

Relativamente à redução adicional (melhorada) de nutrientes, merece aqui destaque a remoção de fósforo por precipitação química. Este método baseia-se na precipitação química do fosforo através da adição de sais metálicos, o que aumenta significativamente a quantidade de lamas produzidas. Este método envolve um consumo de energia essencialmente no processamento das lamas adicionais produzidas e na preparação e doseamento dos reagentes químicos envolvidos. Mais recentemente a possibilidade da remoção adicional de fósforo por via biológica tem reduzido o recurso à precipitação química.

Quanto à remoção adicional de sólidos, o método mais utilizado baseia-se na filtração através de leito granular de areia, método que utiliza energia no bombeamento de água a utilizar e no bombeamento de água utilizada na sua lavagem.

A remoção de matéria orgânica refratária por adsorção de carbono ativado não é objeto de desenvolvimento neste trabalho pelo facto de ser rara a sua utilização.

3.3.4 Tratamento de lamas

Ao longo da linha de tratamento da fase líquida são produzidas lamas (primárias, químicas, biológicas) que necessitam de posterior processamento ao longo da linha de tratamento da fase sólida.

Estas lamas são essencialmente sujeitas a processos de transporte por bombagens, a estabilização e desidratação. No transporte e processamento das lamas é gasta uma parcela significativa da quantidade de energia consumida numa ETAR.

Previamente à estabilização de lamas por via aeróbia ou anaeróbia pode proceder-se ao seu espessamento. Este espessamento pode ser conseguido pela ação da força da gravidade ou por flotação com injeção de ar, variando assim o consumo de energia desde valores reduzidos no primeiro caso até valores mais significativos no segundo.

O processo de digestão anaeróbia pode realizar-se a temperaturas que vão desde a temperatura ambiente até temperaturas na ordem dos 50°C (TAD).

Os processos de estabilização incluem a digestão anaeróbia com variantes que vão desde a temperatura ambiente até temperaturas na ordem dos 35°C. Na digestão anaeróbia mesófila, o aquecimento das lamas faz-se normalmente com o recurso ao biogás produzido durante a digestão sendo por isso um processo eficiente do ponto de vista energético. No entanto é sempre utilizada energia elétrica na bombagem e mistura de lamas, podendo esta energia elétrica ser produzida através de cogeração ou adquirida à rede elétrica.

Quanto à digestão aeróbia de lamas as versões mais habituais funcionam à temperatura ambiente e são intensivas em termos do uso de energia, com exceção da variante ATAD (autothermal thermophilic aerobic digestion) que opera a temperaturas superiores a 50°C onde a temperatura é mantida pelo calor libertado da própria digestão. No entanto há que ter em consideração os custos inerentes a energia utilizada no arejamento nas lamas.

As formas habituais de desidratação baseiam-se essencialmente em processos mecânicos que recorrem a equipamentos como filtros prensa, filtros de banda e centrífugas (as maiores consumidoras de energia, devido à potência dos seus motores).

Previamente à desidratação das lamas pode existir um condicionamento químico que é pouco consumidor de energia devido à baixa potência dos equipamentos envolvidos (bombas doseadoras e agitadores).

3.4 Sistemas de Bombagem

Os sistemas de bombagem incluídos nas ETAR consomem uma parte significativa da energia elétrica total utilizada (15% a 70%).

O desempenho de uma bomba hidráulica é definido pelos seguintes parâmetros: caudal, altura total de elevação, potência, rendimento e NPSH. O ponto de funcionamento de uma bomba hidráulica é definido pela intersecção da curva característica da instalação com a curva característica da bomba, como se pode observar pela Figura 3.5.

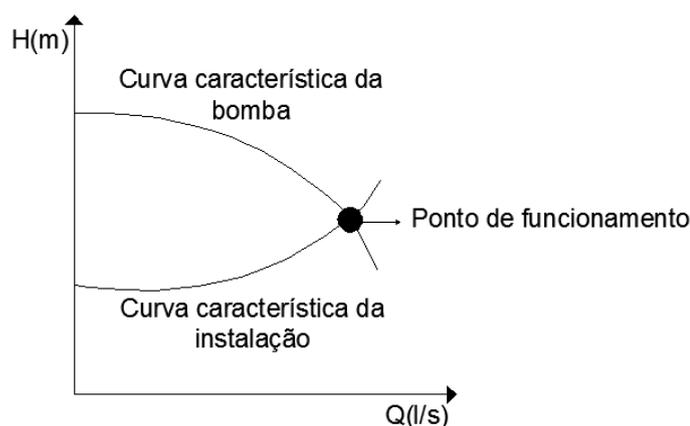


Figura 3.5 – Ponto de funcionamento de uma bomba

A potência de uma bomba pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$P = \frac{\gamma * Q * H}{\eta} \quad (8)$$

sendo Q, o caudal (m³/s), H a altura de elevação (m), γ o peso específico da água(N/m³) e P, a potência (W).

Frequentemente, o ponto de funcionamento de uma bomba é diferente do calculado, o que pode conduzir a situações de desperdício de energia. Esta diferença deve-se a imprecisões dos métodos numéricos no cálculo das perdas, à tolerância permitida nas curvas de desempenho, ao facto das bombas e das condutas sofrerem desgaste ao longo do tempo. Este problema pode ser monitorizado através de equipamentos de medida de grandezas elétricas, nomeadamente um contador de energia ativa ou um multímetro.

3.5 Sistemas de Arejamento

Os sistemas de arejamento são responsáveis pela injeção de ar na água residual a tratar, fornecendo assim o oxigénio necessário aos microrganismos que degradam a matéria orgânica e o azoto (nitrificação). Note-se que 21% do ar atmosférico é oxigénio.

O consumo energético associado aos sistemas de arejamento é bastante significativo devido a serem equipamentos que apresentam potências e períodos de funcionamento elevados.

Para sistemas de ar difuso de bolha fina, os mais utilizados atualmente, e com objetivo do funcionamento ser o mais eficiente, deve-se realizar uma monitorização das concentrações de oxigénio através de sondas.

O cálculo da potência de um soprador é realizado segundo um conjunto de várias fases (NOPON, 1997). Em primeiro lugar determina-se as necessidades de oxigénio (AOR em kg O₂/d):

$$AOR = COR + EOR + NOR - DOR \quad (9)$$

sendo COR o oxigénio exigido pelos compostos orgânicos (kg O₂/d), EOR o oxigénio necessário para respiração endógena das lamas ativadas (kg O₂/d), NOR o oxigénio necessário para a nitrificação (kg O₂/d) e DOR o oxigénio libertado na desnitrificação (kg O₂/d).

Poder-se-á utilizar a equação empírica (10):

$$AOR = a^* \times \Delta CBO_5 + b \times X \times V + c \times \Delta NH_4-N - d \times \Delta N_{tot} \quad (10)$$

Sendo a^* a taxa de respiração do substrato ($\frac{kgO_2}{kgCBO_5}$), a CBO_5 a variação da concentração da redução de carga orgânica, b a taxa de respiração endógena (kgO₂ / kgMLSS/d), d coeficiente de oxigenação do azoto, X a biomassa no tanque de arejamento ($\frac{kgMLSS}{m^3}$), V o volume do tanque (m³), c coeficiente de oxigenação de de azoto na forma amoniacal ($\frac{kgO_2}{kgNH_4-N}$), ΔNH_4-N a redução de carga de azoto na forma amoniacal (kgNH₄-N/d), ΔN_t redução da carga de azoto total (kg N_{tot}/d).e AOR as necessidades de oxigénio ($\frac{kgO_2}{h}$).

Seguidamente calcula-se, em condições padrão, a taxa de transferência de oxigénio (SOTR em kg O₂/d):

$$SOTR = \frac{1}{\alpha} \times \frac{C_{\infty 20}^*}{\beta \times C_{\infty}^* - C_L} \times \theta^{(20-T)} \times AOR \times \frac{1}{24} \times k_1 \quad (11)$$

Sendo α um coeficiente geral, $C_{\infty 20}^*$ concentração de saturação de oxigénio dissolvido (OD) em condições estacionarias e a temperatura (20°C) e á pressão ao nível do mar, C_{∞}^* concentração de saturação de oxigénio dissolvido (OD) em condições estacionarias e para um tempo infinito e para uma determinada atmosférica, C_L a concentração de oxigénio no tanque de arejamento, θ coeficiente de correção da temperatura, T a temperatura máxima no tanque de arejamento(°C) e k_1 um coeficiente tabelado que depende do tempo de retenção hidráulico.

A partir deste valor é possível calcular o caudal de ar necessário (q_a) em condições padrão:

$$q_a = \frac{SOTR}{C_i \times e} \quad (12)$$

sendo C_i a concentração de oxigénio no ar com uma temperatura de 20°C e uma pressão de 101.3kPa, e percentagem de absorção de oxigénio a profundidade pretendida do tanque e q_a caudal de ar (m³/h).

O caudal de ar é sujeito a uma correção para condições reais, sendo que para sistemas de difusão de ar:

$$q'_a = q_a \times \frac{p_s}{p_i} \times \frac{T_i}{T_s} \quad (13)$$

sendo p_s a pressão atmosférica padrão (kPa), p_i a pressão atmosférica (kPa), T_i a temperatura máxima do interior do tanque(K(=°C+273)) e T_s a temperatura do ar em condições padrão(K).

A pressão da descarga do soprador (p_2 em kPa) determina-se a partir da equação:

$$p_2 = p_i + p_h + p_p + p_a + p_b^2 \quad (14)$$

Sendo p_h a pressão hidráulica (kPa), p_p a perda de carga nas condutas incluindo válvulas e medidores de caudal (kPa), p_a a perda de carga nos difusores (kPa), e p_b a perda de carga nos filtros de ar. (kPa),

Finalmente, a potência (kW) no soprador é calculada pela expressão (15):

$$P = 0.0982 \times p_i \times q'_a \times \left[\left(\frac{p_2}{p_i} \right)^{0.283} - 1 \right] / \eta \quad (15)$$

Sendo η o rendimento que varia entre 0,65 e 0,8.

O caudal de ar introduzido por cada difusor é crítico para o bom funcionamento de todos os sistemas de arejamento que recorram a esta tecnologia. Caudais de ar demasiados baixos podem causar a obstrução dos difusores levando à ocorrência de sedimentação de sólidos no reator. Caudais demasiado elevados levam à perda de eficiência, uma vez que irá ocorrer um maior choque entre bolhas finas, levando à formação de bolhas de ar de maiores dimensões. Além disso, caudais de ar elevados correspondem a maiores consumos energéticos.

Os difusores de bolha fina apresentam, de um modo geral, uma faixa de caudais de ar a introduzir mais reduzida que os restantes difusores.

4. CASOS DE ESTUDO

4.1 Descrição geral

Neste capítulo apresentam-se os indicadores de desempenho e os resultados dos vários casos de estudo, de acordo com os dados fornecidos por uma determinada entidade gestora. Dado que os elementos fornecidos não eram todos idênticos para as várias ETAR, optou-se por efetuar uma análise de resultados para 3 casos de estudo correspondentes a diferentes situações. O caso 1 é referente a 26 ETAR onde os resultados apresentados são relativos ao ano de 2010, sendo que os dados necessários à caracterização das ETAR encontram-se no Anexo A. O caso 2 refere-se a 13 das 26 ETAR e inclui a listagem das potências dos dispositivos constituintes de cada instalação (Anexo B). Por último, o caso 3 inclui 7 das 26 ETAR iniciais, relativamente às quais são conhecidas as horas de funcionamento dos vários equipamentos ao longo do ano e as respetivas potências (Anexo C).

4.2 Indicadores de Desempenho

Como no presente trabalho se pretende avaliar comparativamente (benchmarking) a utilização de energia em vários reatores biológicos em ETAR destinadas ao tratamento de residuais urbanas, nomeadamente soluções baseadas em sistemas de lamas ativadas e em sistemas de biofilme, recorreu-se a um sistema de Indicadores de Desempenho (ID) energético para a avaliação dos sistemas de tratamento biológico:

(ID₁) kWh consumidos/1000 m³ de água residual tratada - permite determinar a eficiência de cada instalação em termos energéticos por cada 1000 m³ de efluente tratado;

(ID₂) kWh consumidos/kg CBO₅ removidos – permite determinar a eficiência de cada instalação em termos energéticos por cada kg de CBO₅, sendo o valor de energia representativo do consumo elétrico presente na fatura de cada instalação e a carência bioquímica de oxigénio (CBO₅) a medida de quantidade de oxigénio necessária à oxidação da matéria orgânica biodegradável (presente numa amostra de água) através de reações bioquímicas em meio aeróbio;

(ID₃) % do total de consumo de energia na ETAR - permite determinar a distribuição de energia e o seu consumo ao longo do processo de tratamento. Como este é constituído por diversas fases e vários equipamentos realiza-se assim a separação em tratamento primário, tratamento secundário, sistemas de bombagem, tratamento de lamas e sistemas de apoio.

4.3 Caso 1 – 26 ETAR

Neste 1º caso de estudo procurou-se efetuar uma análise comparativa a partir dos dados apresentados no Quadro A.1 (Anexo A), determinando-se ainda os Indicadores de Desempenho ID₁ e ID₂.

4.3.1 Resultados gerais

Neste 1º caso de estudo procurou-se efetuar uma análise comparativa a partir dos dados apresentados no Quadro A.1 (Anexo A), determinando-se ainda os Indicadores de Desempenho ID₁ e ID₂.

Da análise dos valores referentes à população de projeto e à população de exploração no ano de 2010 para 25 das 26 ETAR¹ (Figura 5.1) pode-se concluir que, na maior parte dos casos, há uma diferença relevante entre as duas situações, sendo que o número de habitantes referentes ao dimensionamento das ETAR é normalmente superior ao número de habitantes no ano de 2010, podendo atingir diferenças da ordem dos 50%, existindo assim um valor da potência instalada superior ao real; os casos A8,C2 e C3 apresentam resultados contrários com uma população servida superior à de dimensionamento sendo, no entanto, pouco significativa.

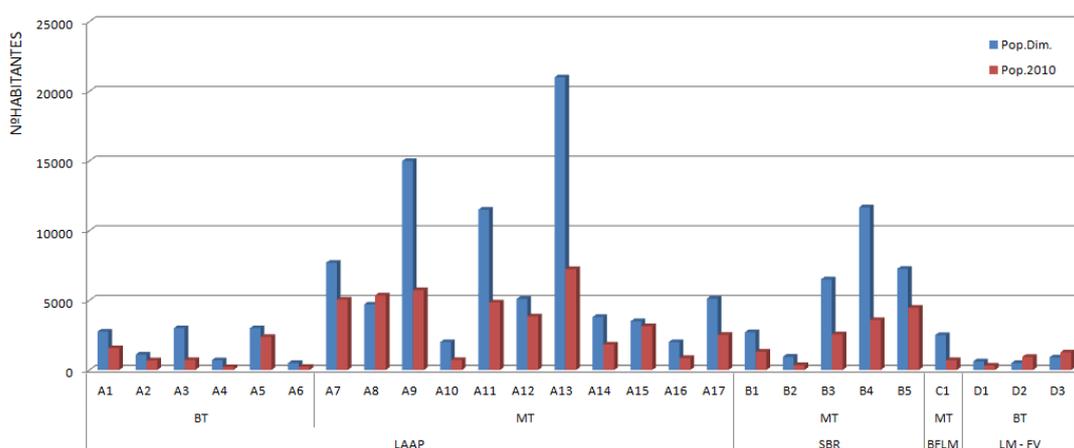


Figura 5.1 – População de dimensionamento/População em 2010

¹ A ETAR E1 não se encontra representada na Figura 5.1 pois os valores da população de dimensionamento e de exploração são de uma ordem de grandeza muito superior às restantes.

Na Figura 5.2 apresentam-se os níveis da potência contratada (em baixa e média tensão) para 25 das 26¹ ETAR em função da população de dimensionamento. Como se pode observar da figura a contratação em baixa tensão é uma opção tarifária escolhida para populações inferiores aos 3000 habitantes. A contratação em média abrange normalmente populações superiores a 2000 habitantes. Com o aumento da população dá-se geralmente um aumento do nível de potência contratada.

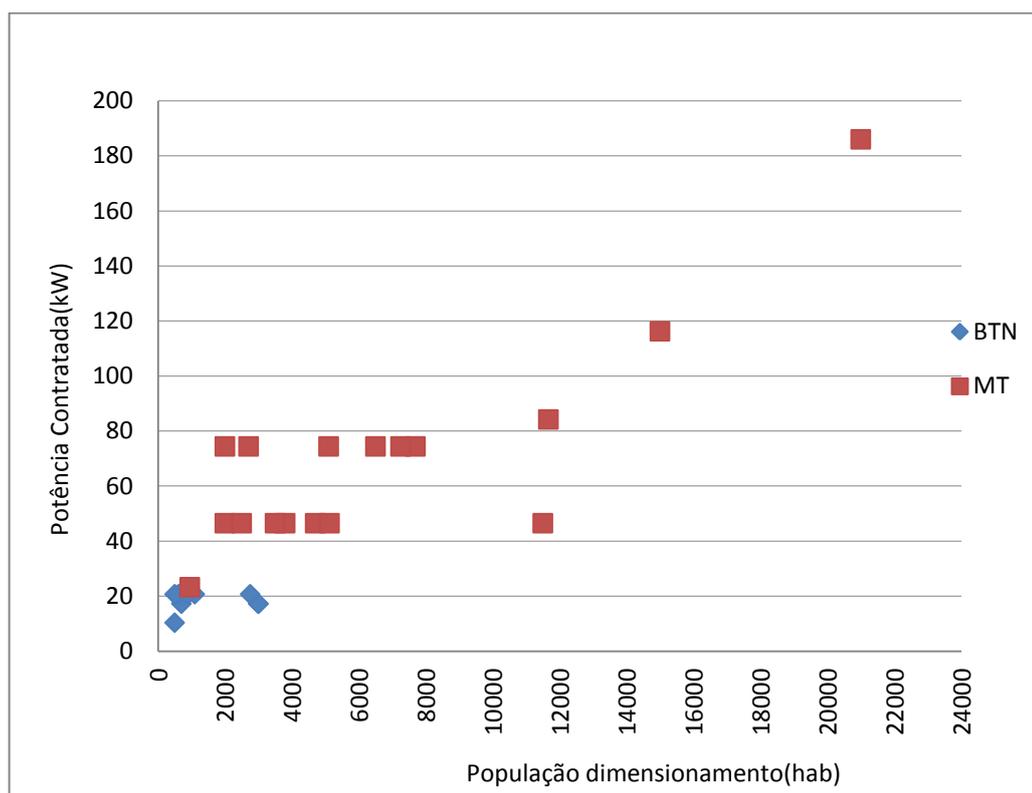


Figura 5.2 – Potência contratada/população de dimensionamento

Na Figura 5.3 apresenta-se o número de habitantes em função da potência contratada de acordo com o tipo de tratamento secundário (LAAP, SBR, BFLM e LM-FV). Do conjunto de ETAR (25 das 26 ETAR²) analisado, o sistema de tratamento por LAAP é o que contém o maior número de casos, apresentando uma maior variação dos valores de potência contratada e número de habitantes.

² A ETAR E1 não se encontra representada na Figura 5.1 pois os valores da população de dimensionamento e de exploração são de uma ordem de grandeza muito superior às restantes.

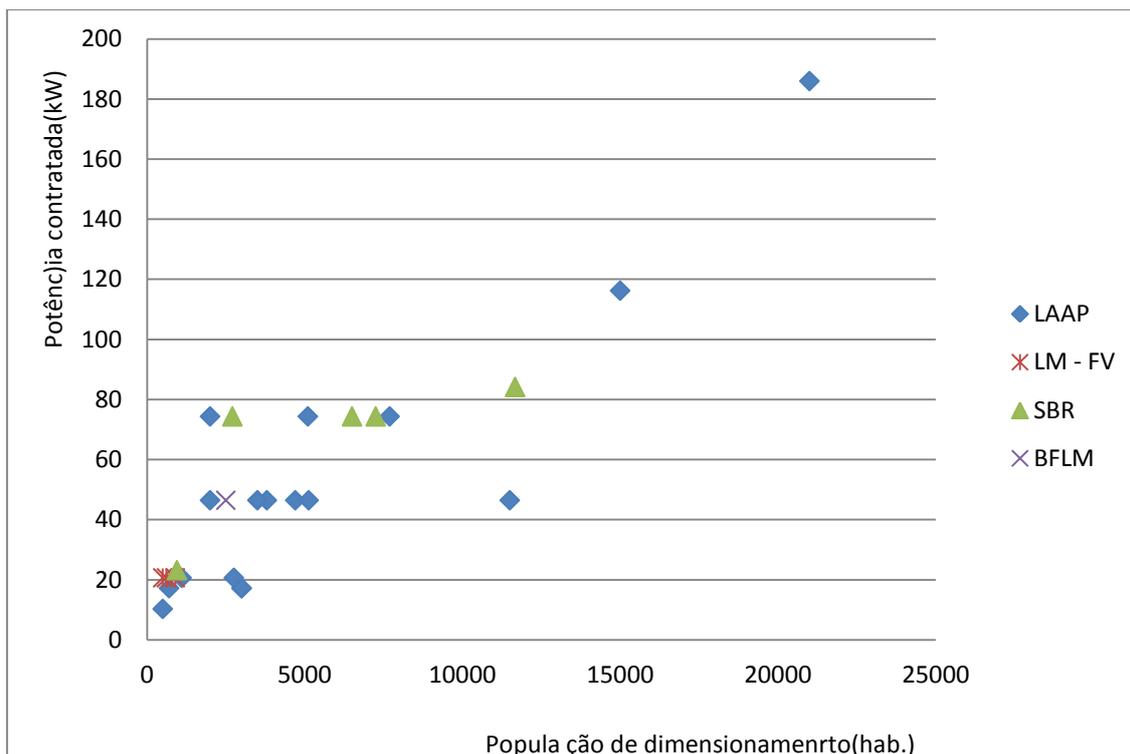


Figura 5.3– Potência contratada/população de dimensionamento/tipo de tratamento secundário

Como a figura demonstra existem 3 níveis de contratação de potência que é possível distinguir: o primeiro nível, perto dos 20kVA, BT, com populações inferiores a 3000 habitantes, onde se inserem praticamente todos os tipos de tratamento, estando o tratamento por LM-FV representado por 3 casos com o mesmo nível de contratação (20,7KVA) com número de habitantes muito semelhantes. O segundo nível apresenta uma opção tarifária que contém um valor de 46,5kW, MT, como referência, para populações com um número de habitantes superiores a 3000 e inferior a 5000, estando neste nível de contratação de potência inserido o tratamentos por LAAP. O terceiro nível corresponde a potências com o valor de 74,4kW, MT, abrangendo um largo intervalo de habitantes, desde dos 2500 até aos 10000 habitantes, havendo ainda casos com população superior. Neste nível o maior número de casos encontra-se perto dos 5000 habitantes e os sistemas de tratamento por LAAP e por SBR apresentam valores semelhantes. Note-se que há 4 casos que não se encontram incluídos nos referidos nestes níveis de potência.

Na série referente ao sistema de tratamento tipo SBR, 5 casos, observa-se que a contratação é feita em MT, na sua totalidade, sendo que apenas um dos casos (B2) contrata uma opção tarifária inferior a 74,4 kW pois apresenta valores da população inferior aos 1000 habitantes. Com contratação de potência de 74,4kW, temos 3 casos, com população desde os 3000 até aos 8000 habitantes, comportamento semelhante à série LAAP, para um dos seus patamares de contratação. De referir que na série de SBR o caso que apresenta a população mais elevada contrata o valor superior de potência entre eles (84,2 kW, caso B4).

Na Figura 5.4 está representada a relação entre o valor de potência contratada (kW) e a população de exploração no ano de 2010 para as 26 ETAR, segundo a baixa e média tensão instalada e o tipo de tratamento.

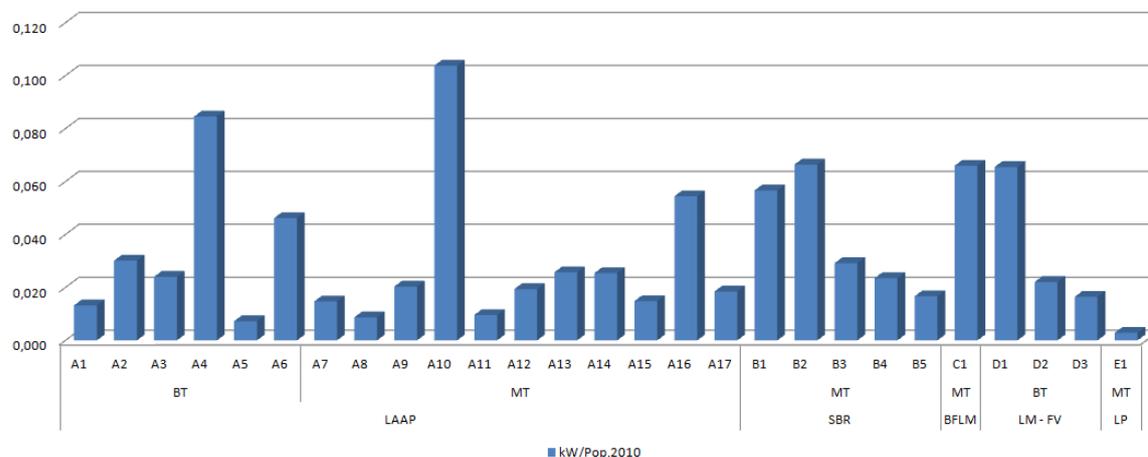


Figura 5.4 – Relação entre a potência contratada (kW) e a população no ano de 2010

Da análise da Figura 5.4, conclui-se que no tratamento por LAAP não existe divergência no valor médio de kW/hab comparando os dois níveis de tensão, ou seja, na contratação de potência em baixa (0,034kW/hab.) e média tensão (0,029 kW/hab.) a relação encontra-se muito próximo da média global da lista das ETAR (0,032kW/hab), embora existindo casos com valores dispares. Os casos A4 e A10 apresentam os maiores valores sendo as ETAR que tem uma população em menor número para a potência instalada. O sistema por LP é o que apresenta a relação mais baixa (0,003kW/hab.).

No Figura 5.5 é comparado o consumo de energia (kWh) por habitante para o ano de 2010. Sendo que a média para as 26 ETAR é de 57kWh/hab.

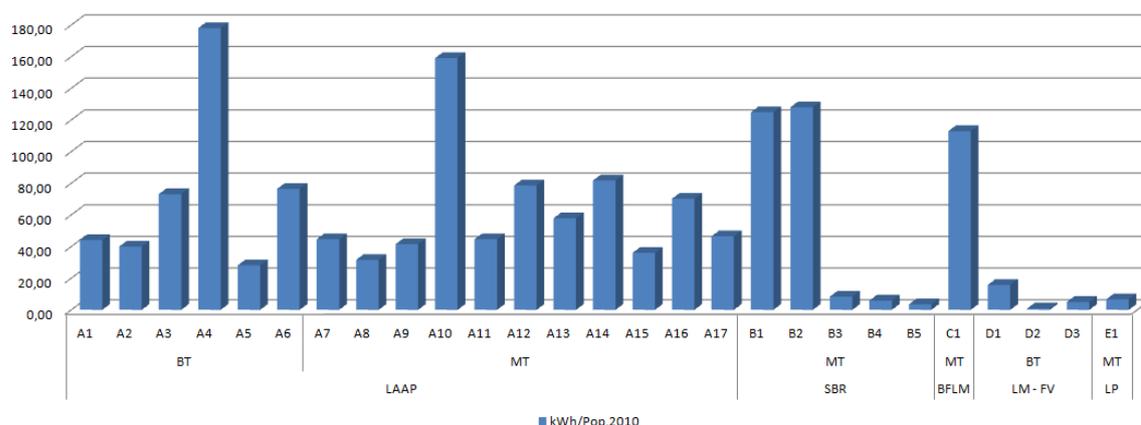


Figura 5.5 – Energia consumida (kWh) por habitante para o ano de 2010

Pela análise da figura é possível concluir que, tirando os casos A4 e A10 com 178kWh/hab e 160kWh/hab respetivamente, no tratamento por LAAP existe um consumo de energia elétrica que varia entre os 28 e os 80kWh/hab, sendo a média de 66kWh/hab. O mesmo não se pode dizer para os restantes tipos de tratamento, por exemplo, para o SBR, o consumo de Kwh por habitante é bastante inferior, 6kWh/hab, retirando os casos B1 e B2 que apresentam valores divergentes, da ordem dos 125kWh/hab. O sistema de tratamento por LM-FV apresenta um valor semelhante ao tratamento por SBR, sem os casos B1 e B2.

Na Figura 5.6 está representada a relação entre o valor anual da fatura energética e a energia consumida no tratamento de cada uma das instalações.

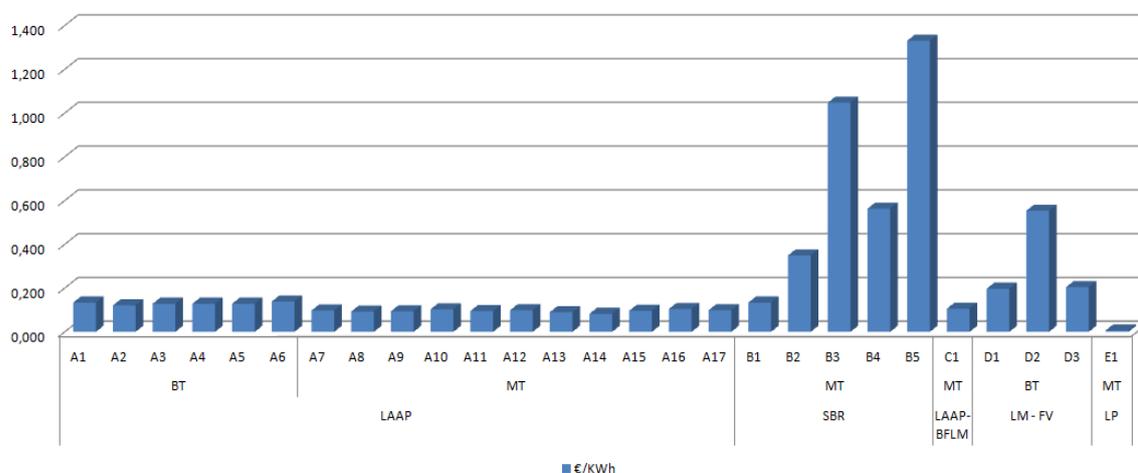


Figura 5.6 – Custo (€) / energia consumida (kWh)

Da análise da figura é possível concluir que no sistema de tratamento por LAAP, as ETAR apresentam uma relação custo/energia consumida idêntica, com valores da ordem dos 0,1€/kWh, existindo uma ligeira diferenciação entre os escalões de BT e MT, sendo que estes últimos apresentam uma melhor eficiência. Este tipo de tratamento apresenta resultados muito próximos do sistema de tratamento do tipo LP, sendo este último o valor mais baixo, 0,007€/kWh. Os sistemas de tratamento por SBR e LM-FV demonstram uma eficiência menor, com valores médios consideravelmente superiores quando comparados aos restantes casos, 0,7€/kWh e 0,4€/kWh, respetivamente. Casos como B3 (1 €/kWh) e B5 (1,3€/kWh), nos sistemas de tratamento tipo SBR contêm valores díspares da média apresentada, sendo estes superior á média global.

4.3.2 Indicadores de Desempenho (ID₁) e (ID₂)

Na Figura 5.7 está representado, para cada ETAR, a energia consumida em função da água residual tratada (kWh consumidos/1000 m³ de água residual tratada), obtendo assim a eficiência de cada instalação em termos energéticos por cada 1000 m³ de efluente tratado em cada instalação, indicador (ID₁), sendo a média total de 138kWh/1000m³.

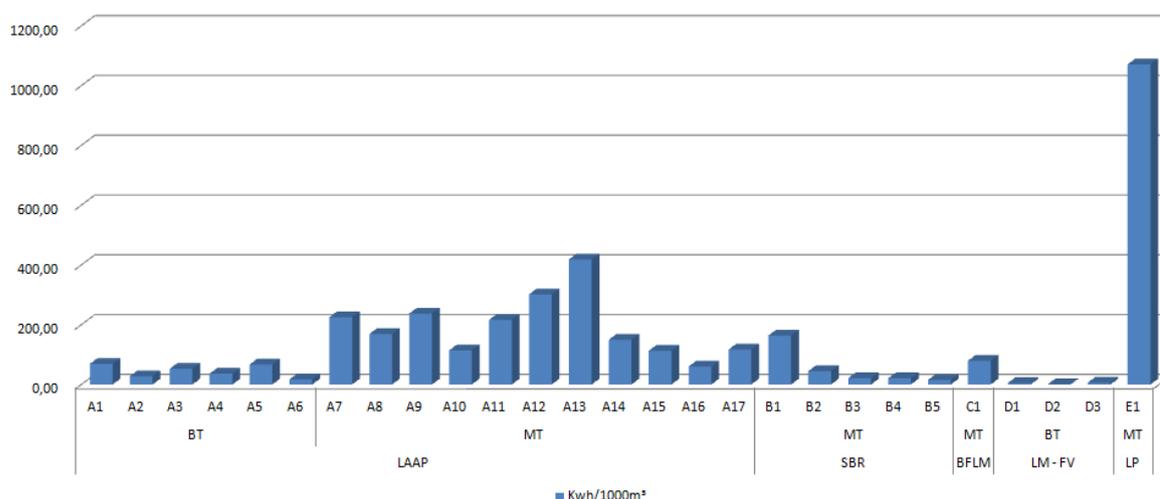


Figura 5.7 – Energia consumida por 1000 m³ de água residual tratada

Da observação da Figura 5.7 os sistemas de tratamento por LAAP em MT apresentam valores de ID₁ significativamente superiores aos restantes casos, com uma média de 193kWh/1000m³, exceção ao caso E1(1070kWh/1000m³) que se destaca de todos os outros casos com o valor mais elevado. Ainda no tratamento por LAAP, é de referir que os valores de ID₁ em BT são significativamente inferiores aos valores em MT, com uma média de 45kWh/1000m³. O indicador ID₁ correspondente aos tratamentos por LM-FV,4kWh/1000m³, e por SBR, 26kWh/1000m³, retirando B1 (165 kWh/1000m³), apresenta os melhores resultados.

A Figura 5.8 apresenta a energia consumida em função da remoção de CBO₅ (ID₂), permitindo assim determinar a eficiência de cada instalação em termos energéticos por cada Kg de CBO₅ removido, sendo a média total de 2,4kWh/Kg CBO₅.

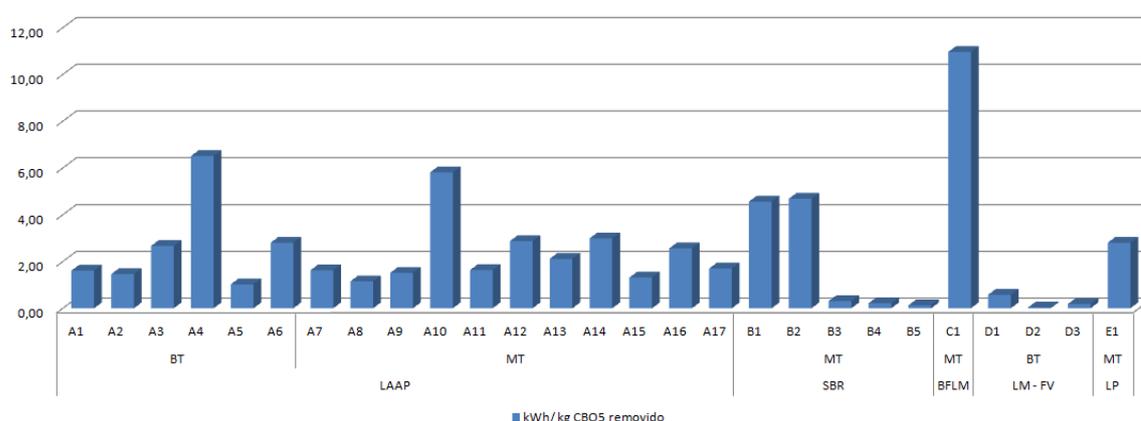


Figura 5.8 – Energia consumida/remoção de CBO₅

As ETAR com tratamento por LAAP apresentam uma menor eficiência energética por SBR (exceção aos casos B1 e B2), LM-FV e LP. No caso dos sistemas por LAAP em note-se que os casos A4 e A10 (6,5kWh/Kg CBO₅ e 5,8kWh/Kg CBO₅, respetivamente), apresentam valores superiores à média deste tipo de sistemas (2,4kWh/Kg CBO₅). Os sistemas de tratamento por SBR apresentam um valor inferior à média total do indicador ID₂, 1,9kWh/Kg CBO₅, exceção são casos B1 e B2 que exibem valores divergentes dos restantes. O sistema de tratamento por BFLM é o tratamento que apresenta o resultado da menor eficiência energética para a remoção de CBO₅, com 11kWh/Kg CBO₅. Note-se que o grau de tratamento que cada ETAR consegue ao nível da remoção biológica de nutrientes pode influenciar estes valores.

4.4 Caso 2 – 13 ETAR

No 2º caso de estudo efetua-se uma análise comparativa da potência em função da fase de tratamento e do tipo de equipamento a partir dos dados apresentados no Quadro B.1 (Anexo B), determinando-se ainda o Indicador de Desempenho ID₃.

4.4.1 Potência instalada por fase de tratamento

Como já foi referido, no caso 2 consideram-se apenas as 13 ETAR em relação às quais foi possível obter a listagem da potência dos equipamentos instalados.

Na Figura 5.9 apresenta-se a distribuição da potência dos equipamentos (em percentagem) em função do processo de tratamento, considerando aqueles que apresentam uma maior potência instalada e um maior consumo energético (tratamento preliminar, tratamento biológico, tratamento de lamas, bombeamento e sistemas de apoio). Assim sendo, o estudo destes casos

torna-se mais aprofundado e permite uma melhor compreensão das necessidades energéticas das ETAR.

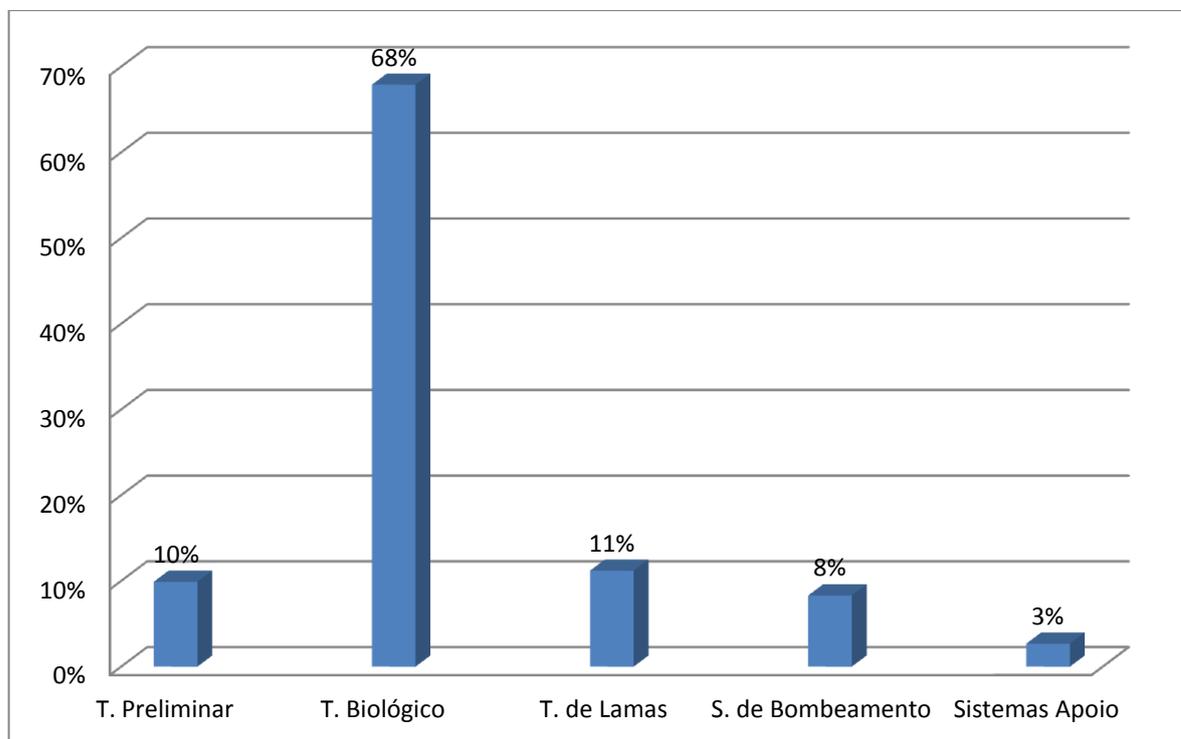


Figura 5.9 – Potência instalada por fase de tratamento

Como se pode observar da Figura 5.9 perto de 70% da potência instalada nas ETAR corresponde ao tratamento biológico. Outras fases do tratamento com menor relevância, mas ainda com uma potência instalada considerável são o tratamento preliminar e tratamento de lamas, assim como o sistema de bombagem, fases estas que apresentam valores muito próximos entre si. Os sistemas de apoio são os menos relevantes, com valores da ordem de 3%. Entende-se por sistemas de apoio os dispositivos auxiliares mas essenciais ao funcionamento de cada instalação, como por exemplo, bombas de escorrências.

Nas 13 ETAR incluídas neste caso de estudo, 8 correspondem a sistemas de tratamento por LAAP, 3 a SBR e 1 a BFLM e 1 a LM-FV. Nas Figuras 5.10, 5.11, 5.12 e 5.13 apresenta-se a distribuição da potência por fase de tratamento, para os diversos sistemas de tratamento.

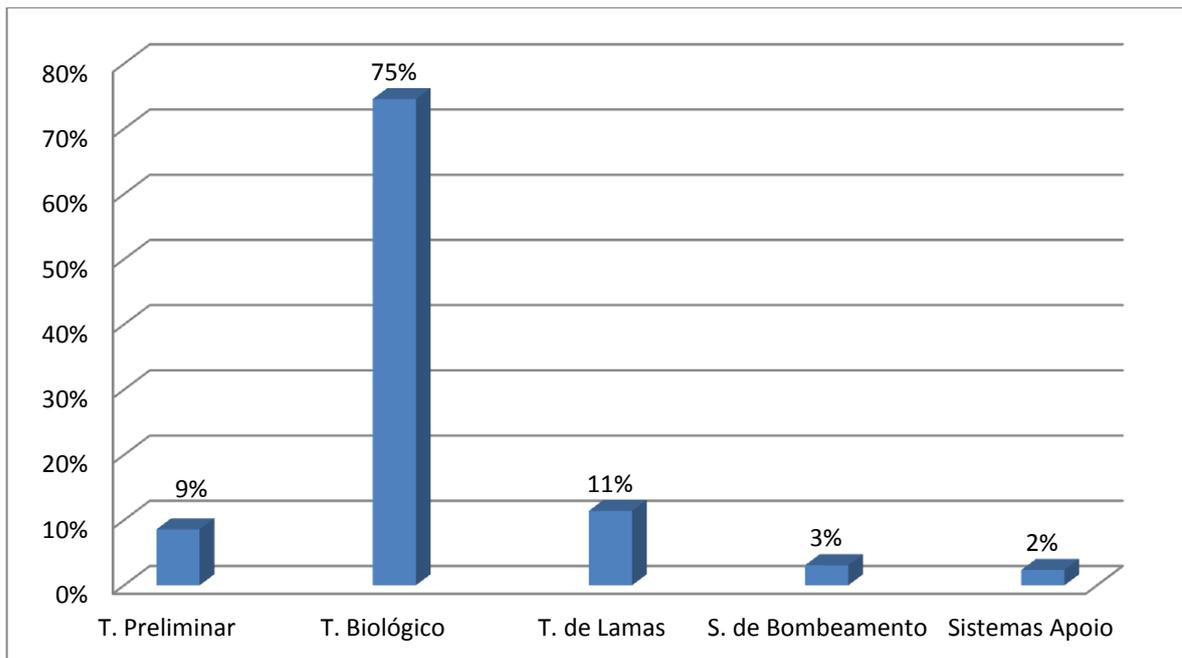


Figura 5.10 – Potência instalada por fase de tratamento, em sistemas de LAAP

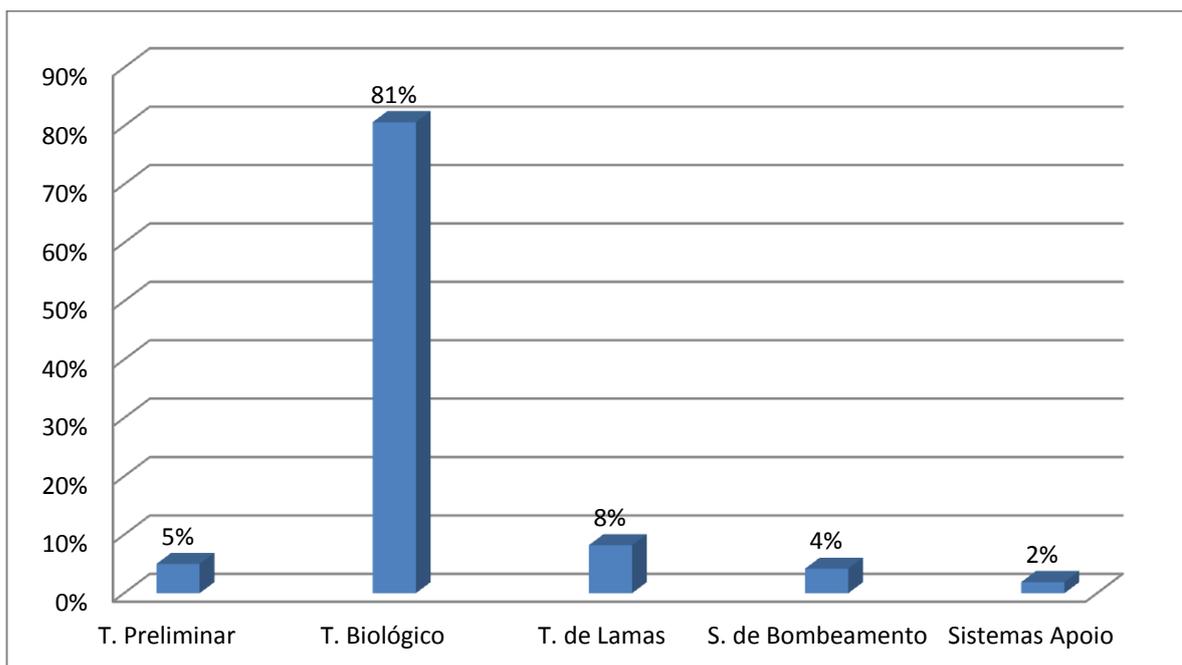


Figura 5.11 – Potência instalada por fase de tratamento, em sistemas de SBR

Como se pode concluir das Figuras 5.10 e 5.11, os tratamentos por LAAP e SBR apresentam uma distribuição muito semelhante. Verifica-se que a maior parte da potência instalada se encontra alocada no tratamento biológico, sendo o sistema de tratamento por SBR o que apresenta o maior valor, cerca de 80% logo seguido do LAAP pouco acima dos 70%. A distribuição nas restantes fases de tratamento é muito idêntica, sendo que o sistema por LAAP contém maiores percentagens no tratamento preliminar, tratamento de lamas e sistemas de bombeamento.

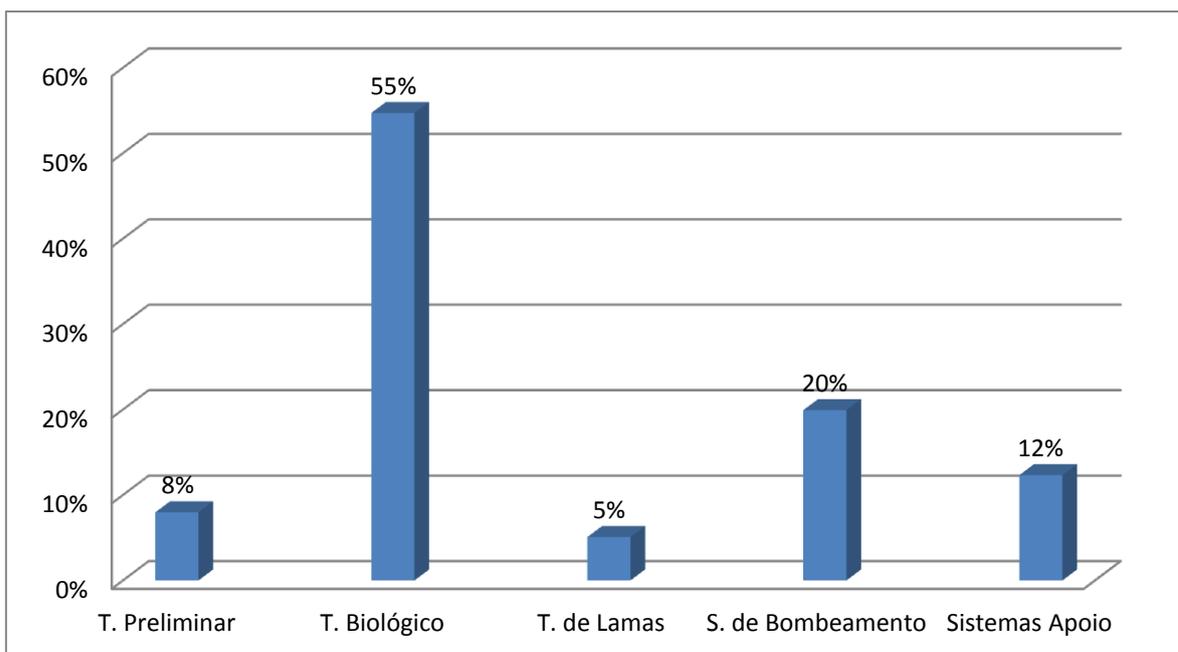


Figura 5.12 – Potência instalada por fase de tratamento, em sistemas de BFLM

Da análise da Figura 5.12 conclui-se que o tratamento biológico é também responsável pela maior percentagem de potência instalada, sendo superior a 50%, valor inferior em comparação com os tratamentos anteriormente analisados. De referir ainda os sistemas de bombeamento, perto dos 20% e os sistemas de apoio com um valor superior a 10%.

Na Figura 5.13 podemos observar que toda a energia requerida para o tratamento está incluída apenas no tratamento preliminar, cerca dos 45%, e sistemas de bombeamento superior a 50%.

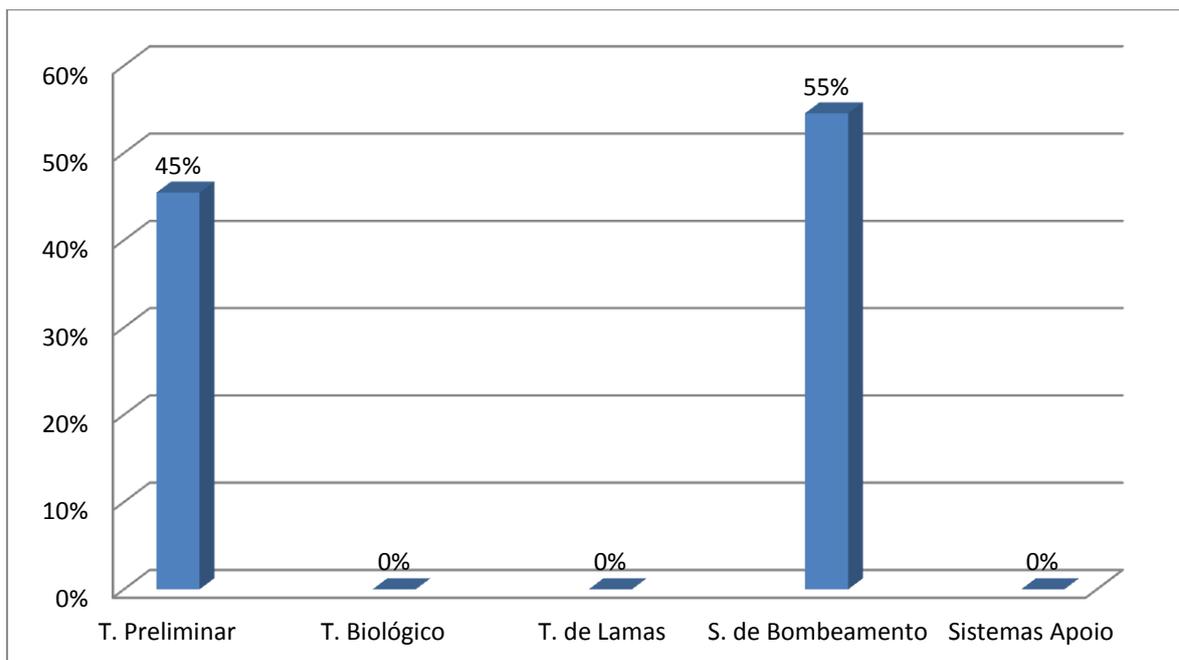


Figura 5.13 – Potência instalada por fase de tratamento, em sistemas de LM-FV

O sistema de tratamento abordado neste caso corresponde a uma instalação de leitos de macrófitas. Derivado da tipologia de tratamento, apenas se verifica consumo energético na fase de tratamento preliminar e sistema de bombagem responsáveis pelo encaminhamento do efluente bruto aos leitos de macrófitas.

4.4.2 Potência instalada no tratamento biológico

Como se pode observar da Figura 5.9 o tratamento biológico é o principal responsável pela contratação de potência; assim sendo, é de interesse realizar um estudo mais aprofundado desta fase do tratamento (Figura 5.14). Assim, dentro do tratamento biológico foram identificados os vários dispositivos nele contidos e realizada a devida separação das potências instaladas. A figura contém as 13 ETAR e apresenta a distinção do tipo de mecanismos no tratamento biológico.

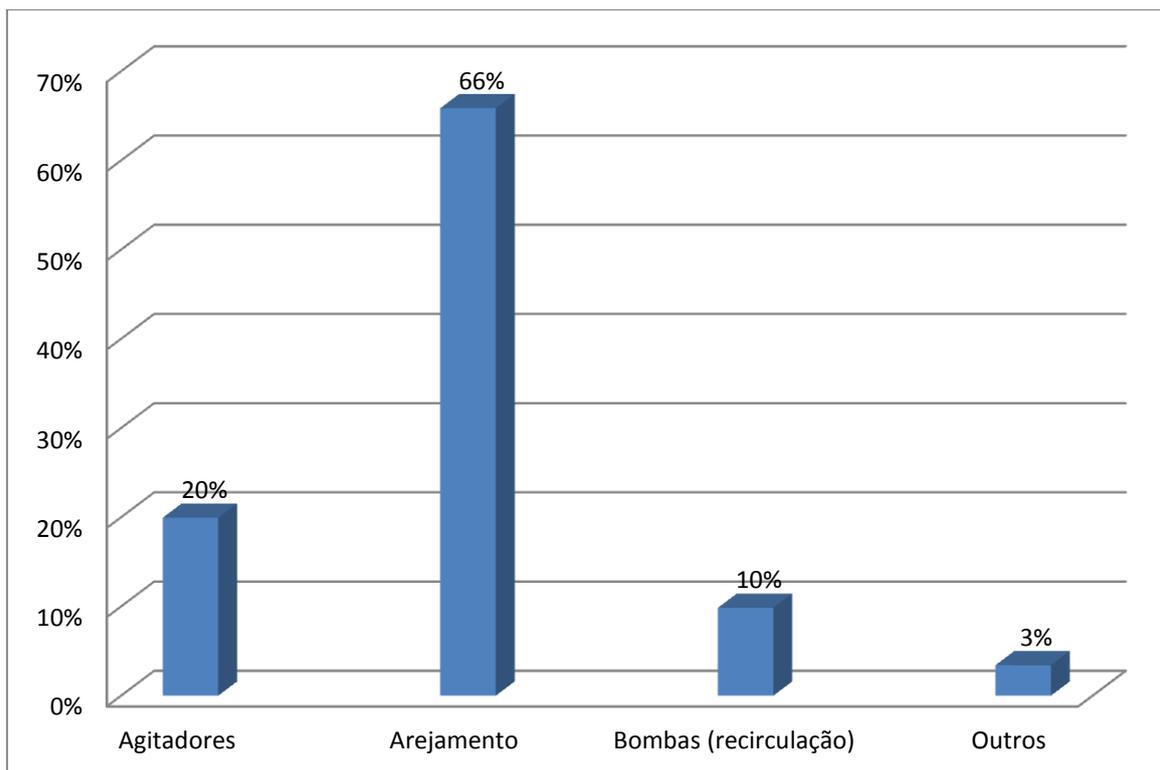


Figura 5.14 – Potência instalada no tratamento biológico

Como se pode observar, os sistemas de arejamento são os maiores responsáveis pela potência instalada, representando perto de 66% da potência instalada no tratamento biológico. Logo de seguida, surgem os agitadores com cerca de 20%, dando assim uma enorme evidência ao sistema de arejamento. Por último e com menor preponderância surgem os denominados outros, como bombas de escorrências assim como a ponte raspadora do decantador secundário.

Nas Figuras 5.15, 5.16 e 5.17 apresenta-se a potência instalada nos diversos tipos de equipamento incluídos no tratamento biológico em função do tipo de tratamento.

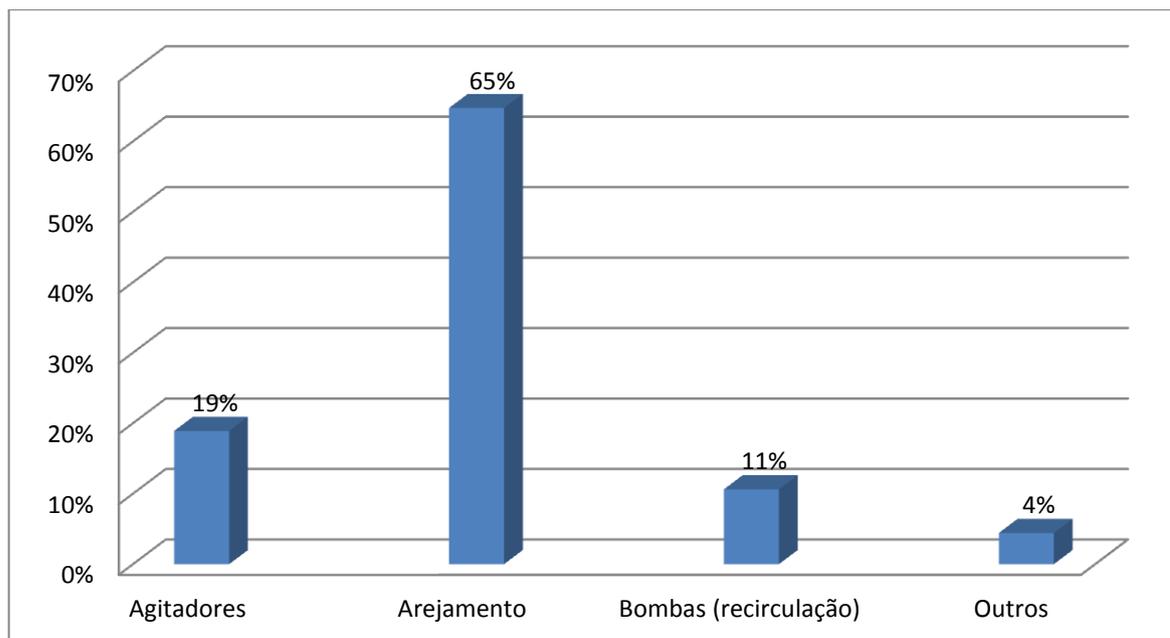


Figura 5.15 – Potência instalada no T. biológico, em sistemas LAAP

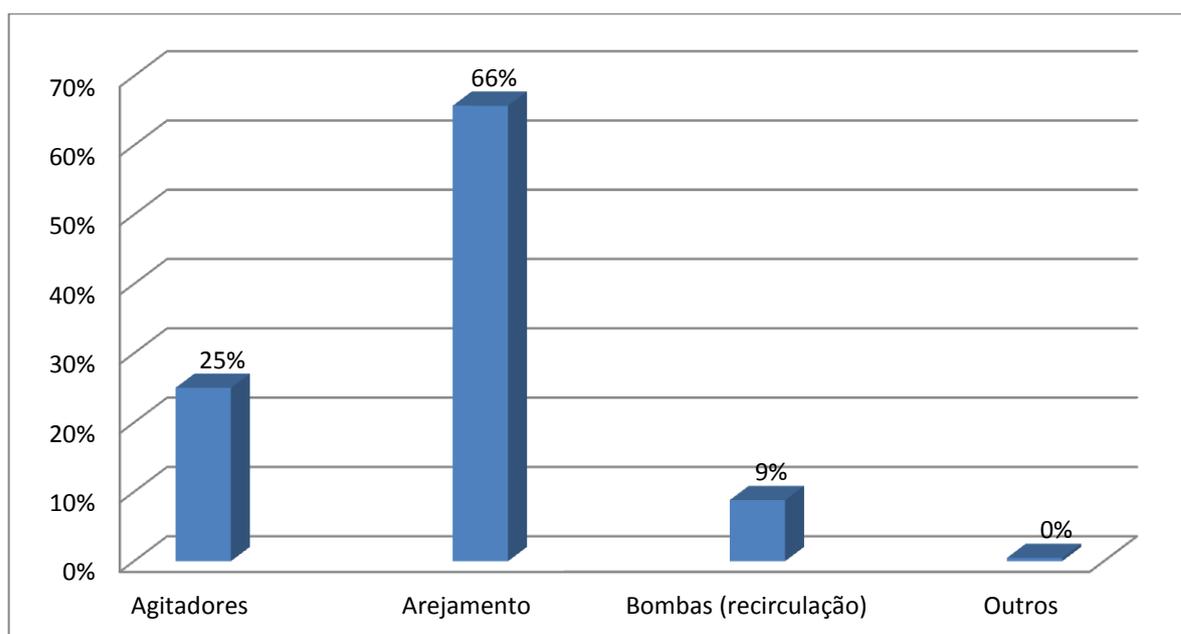


Figura 5.16 – Potência instalada no T. biológico, em sistemas SBR

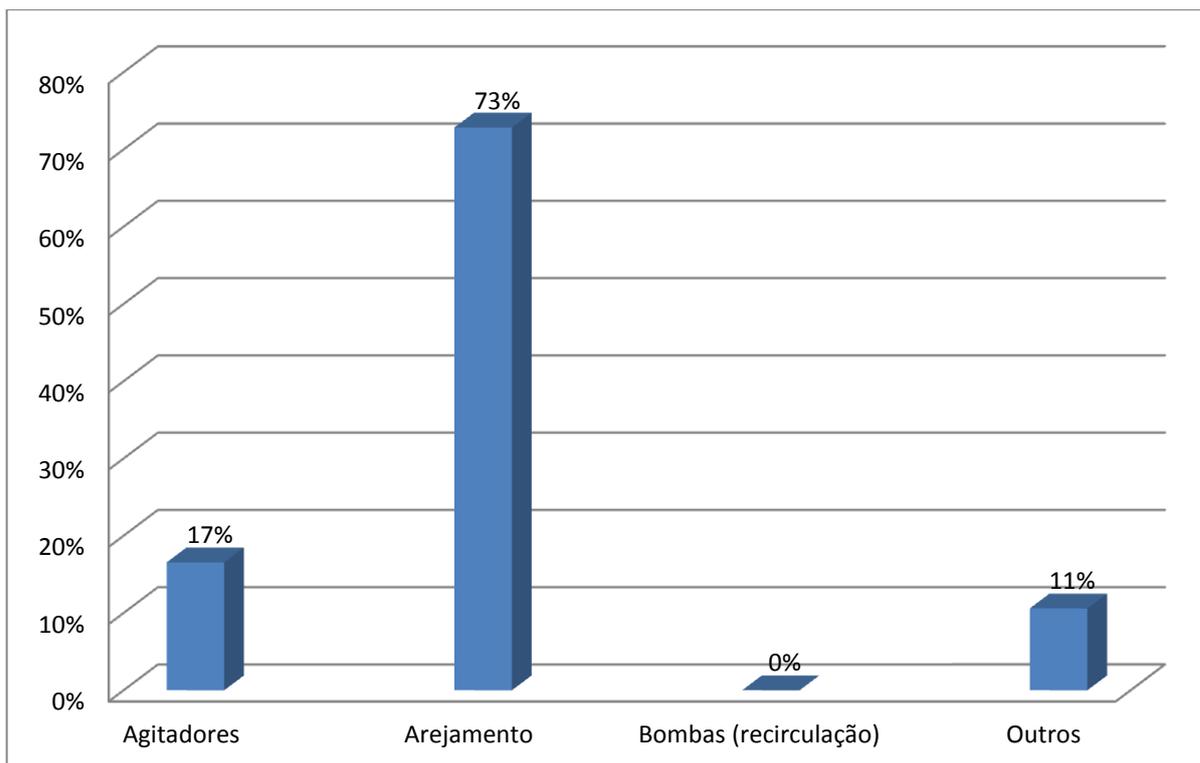


Figura 5.17 – Potência instalada no T. biológico, em sistemas BFLM

Da análise dos gráficos anteriores podemos verificar que em sistemas de tratamento por SBR, a potência instalada na fase de arejamento é de aproximadamente 53% da potência total instalada na ETAR, ao passo que em sistemas LAAP e BFLM é de 48 % e 40 % respetivamente, como se mostra na Figura 5.18 (Percentagem do sistema de arejamento no total da potência instalada na ETAR por tipo de tratamento), devido á necessidade de em sistemas de tratamento por SBR se proceder a um reforço da potência instalada na fase de arejamento. Tal situação prende-se com o modo de operação por ciclos, característica deste tipo de tratamento. Em seguida e de entre os casos analisados, surge o LAAP e por fim o BFLM, sendo este último referente apenas a um único caso.

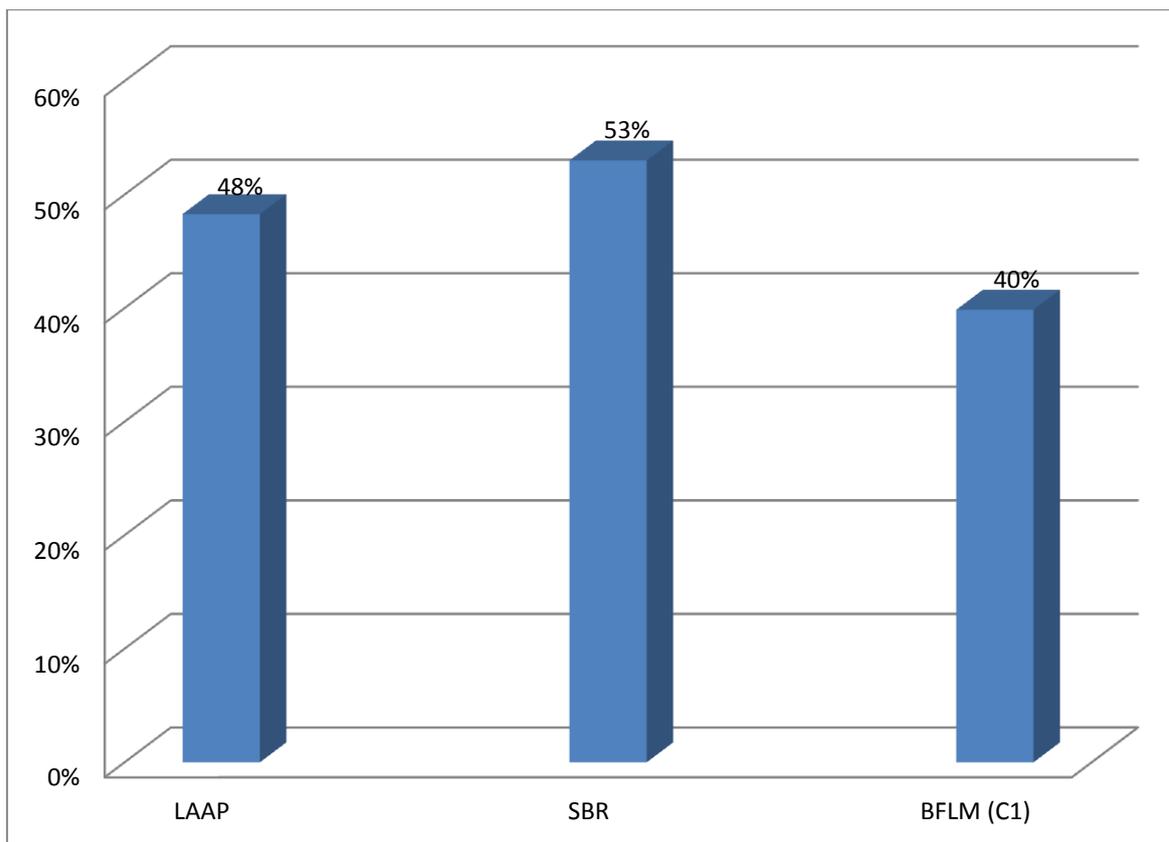


Figura 5.18 – Percentagem do sistema de arejamento no total da potência instalada, por tipo de tratamento

4.5 Caso 3 – 7 ETAR

No 3º caso de estudo determinam-se os indicadores de desempenho ID₂ e ID₃ assim como a repartição de energia pelas várias etapas do tratamento secundário a partir dos dados apresentados no Anexo C.

Como já foi referido no Capítulo 2, nos sistemas tarifários, a faturação da energia não é constante ao longo do dia, existindo várias divisões de períodos horários. A Figura 5.19 mostra a percentagem da faturação desses períodos, energia em hora de ponta, energia horas de cheia, energia horas de vazio e energia em horas de super vazio.

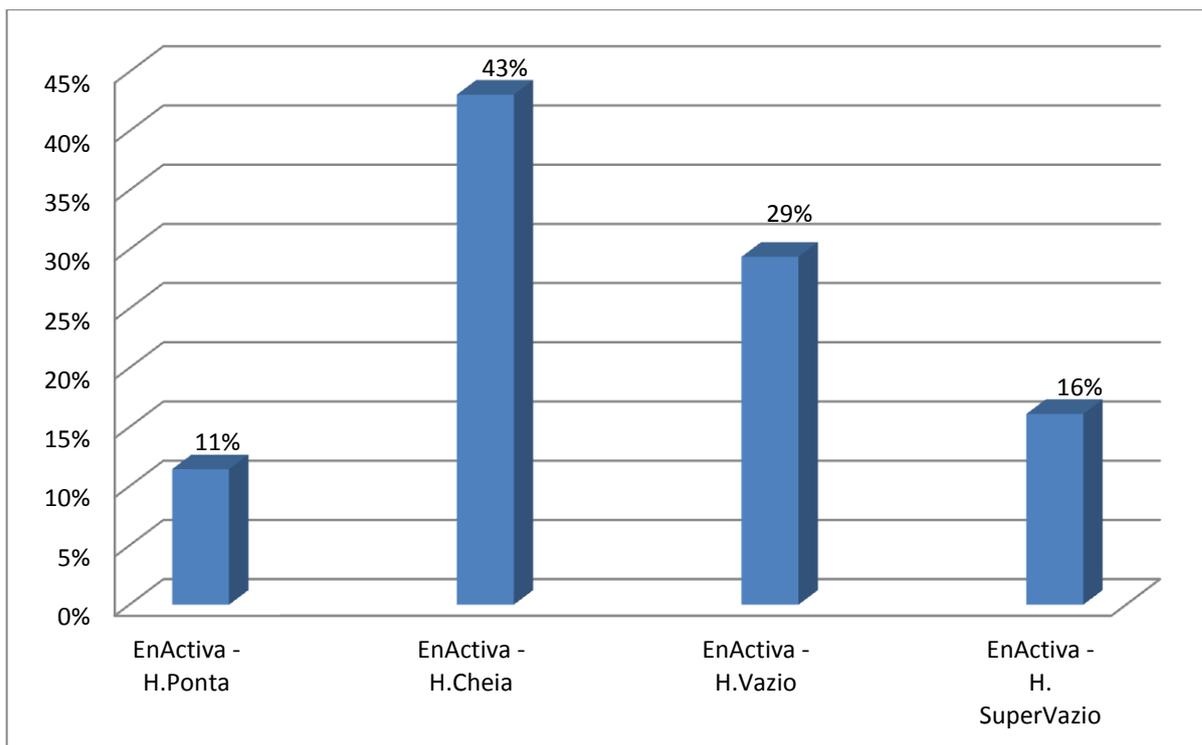


Figura 5.19 – Distribuição do consumo de energia

4.5.1 Energia consumida por fase de tratamento (ID₃)

A partir do número de horas de funcionamento e do valor da potência de cada equipamento constante da s 7 ETAR, estimou-se a energia consumida.

Na Figura 5.20, apresenta-se a percentagem do consumo de energia dos equipamentos por processo tratamento, considerando as principais fases de maior consumo de energia e potência instalada: tratamento preliminar, tratamento biológico, tratamento de lamas, bombeamento e sistemas de apoio.

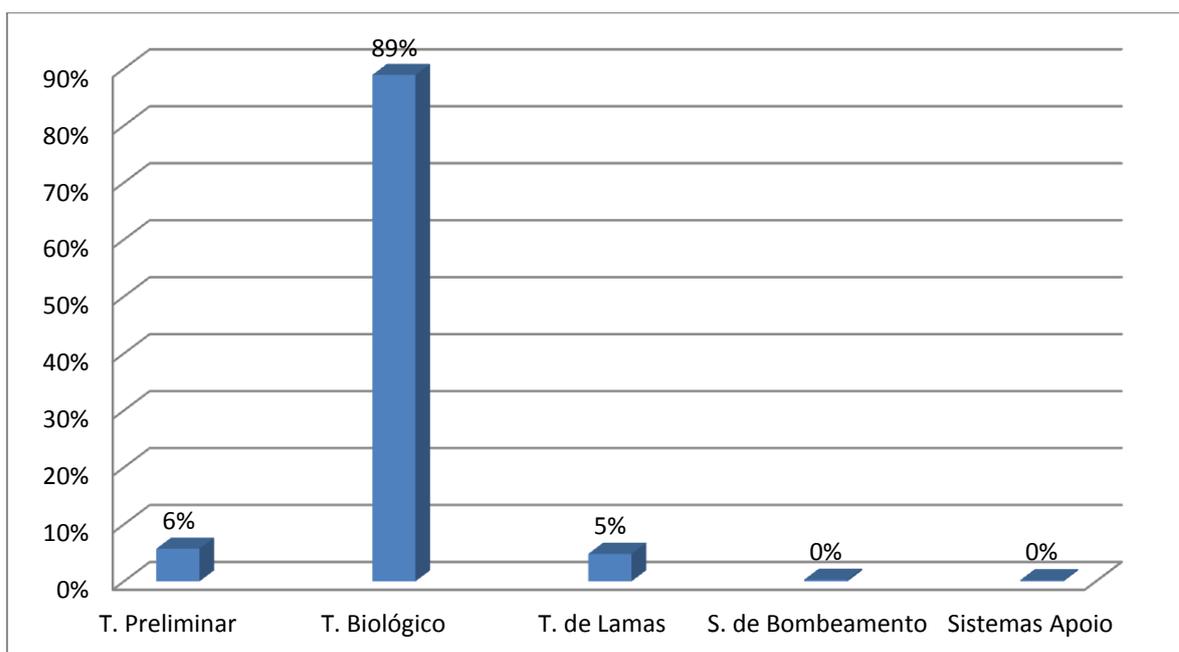


Figura 5.20 – Distribuição do consumo de energia por fase de tratamento

De acordo com a Figura 5.20, torna-se claro que de entre as etapas de tratamento existentes nas ETAR analisadas, aquela que merece um estudo mais aprofundado é a que concerne o tratamento biológico, uma vez que é responsável por 89% do consumo energético nas instalações analisadas neste estudo.

De forma a melhor compreender o anteriormente explanado, efetuou-se o estudo do consumo energético na fase denominada por Tratamento Biológico. Numa primeira etapa foi efetuado o levantamento da tipologia dos equipamentos instalados e as respetivas potências, dados fornecidos pela entidade gestora e representantes dos equipamentos instalados. De seguida e com recurso ao sistema de Telegestão da entidade gestora, foi-nos possível traçar o perfil de funcionamento dos equipamentos instalados.

As 7 ETAR diferem no tipo de tratamento: LAAP (5 casos), BFLM (1 caso) e LM-FV (1 caso). Nas Figuras 5.21, 5.22, 5.23, 5.24 e 5.25, é possível observar a distribuição do consumo energético das ETAR A7, A12, A13, A16 e A17, respetivamente (ETAR de LAAP).

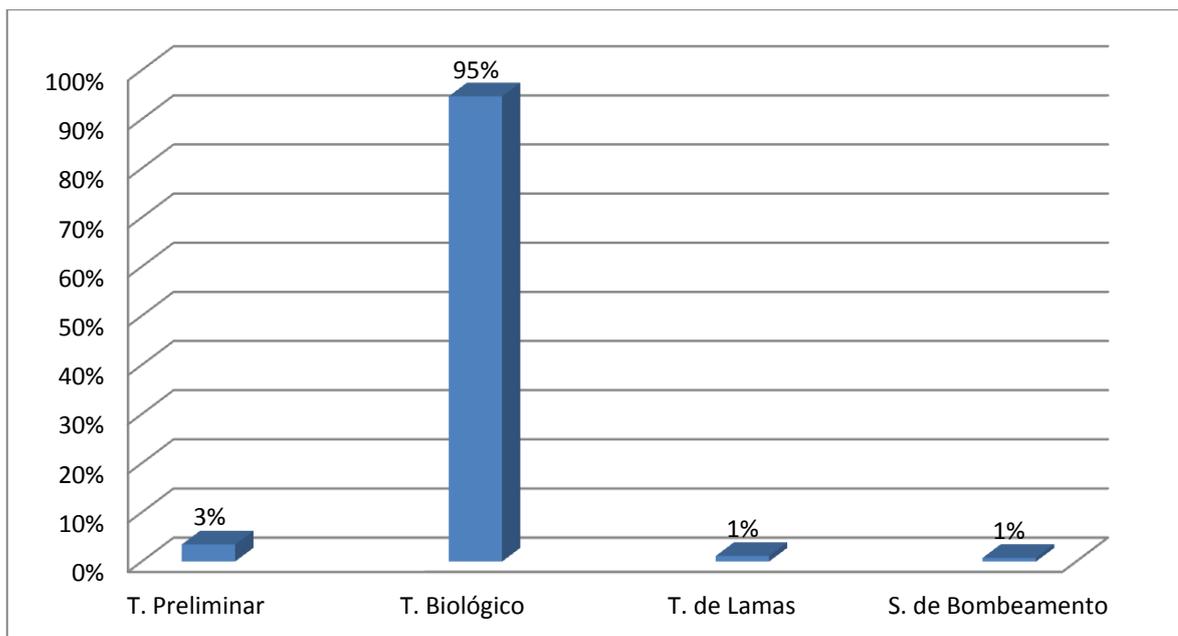


Figura 5.21 - Distribuição do consumo de energia por fase de tratamento (caso A7, LAAP)

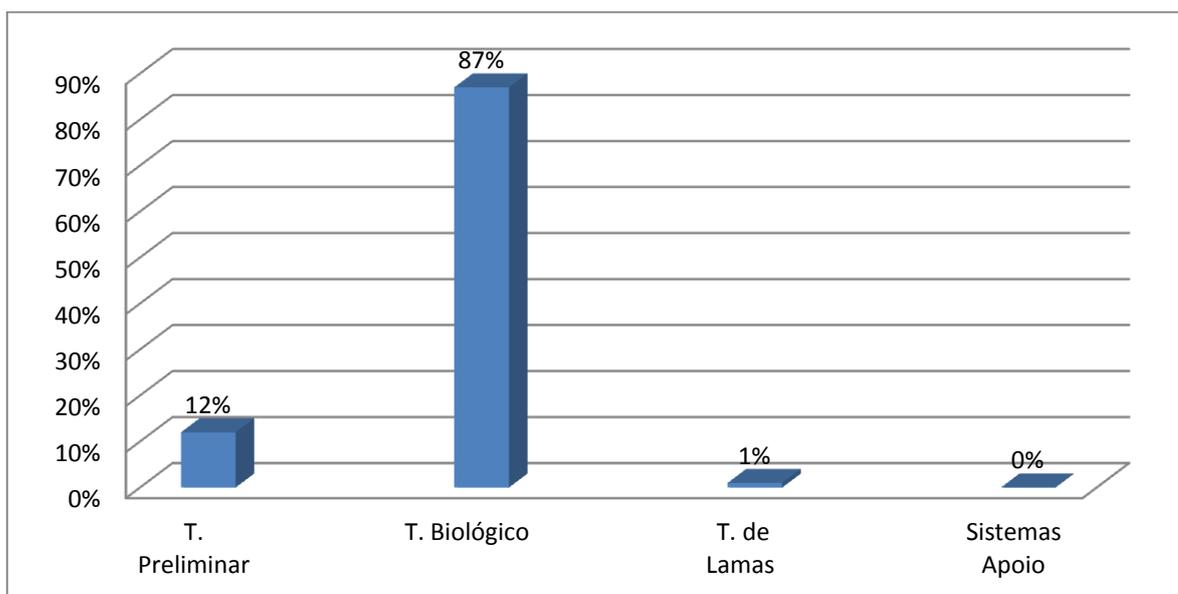


Figura 5.22 - Distribuição do consumo de energia por fase de tratamento (caso A12, LAAP)

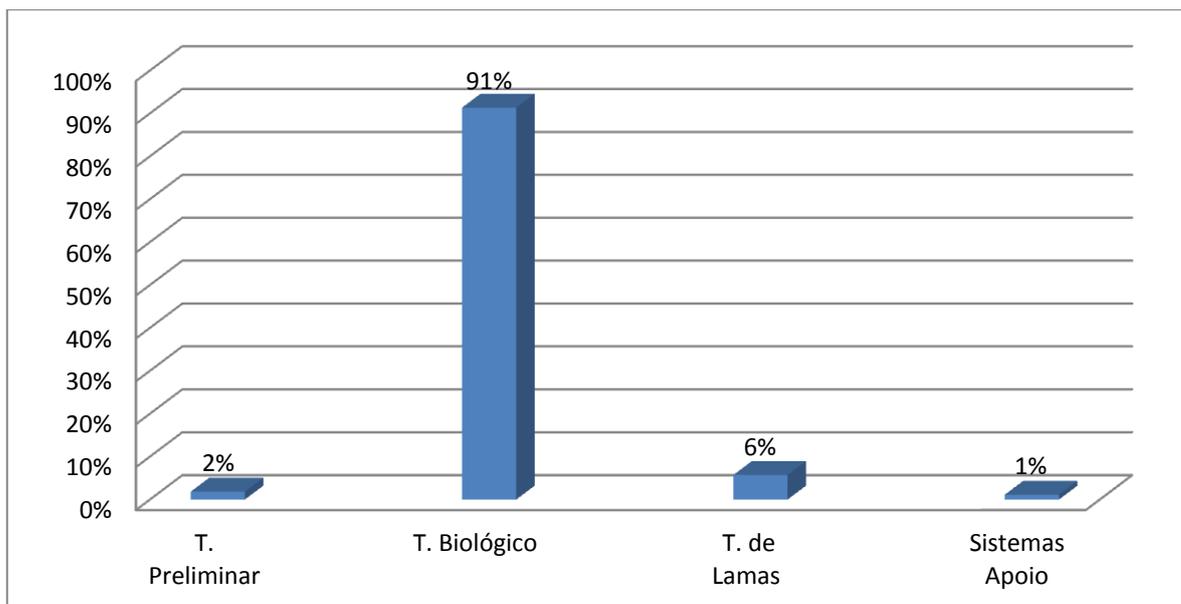


Figura 5.23 - Distribuição do consumo de energia por fase de tratamento (caso A13, LAAP)

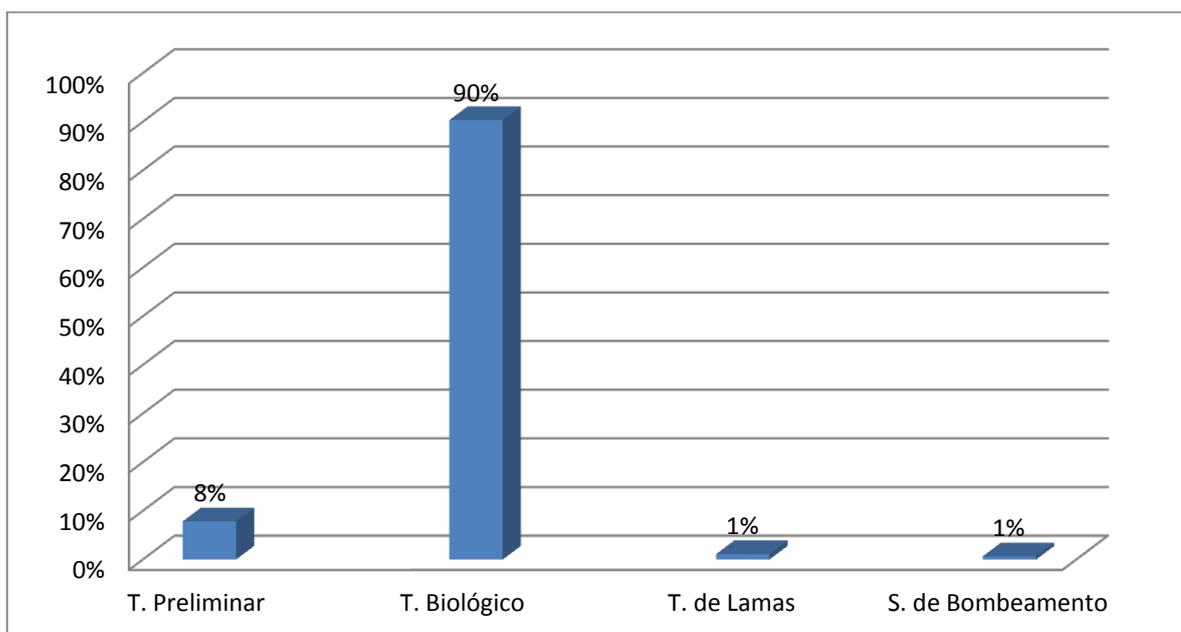


Figura 5.24 - Distribuição do consumo de energia por fase de tratamento (caso A16, LAAP)

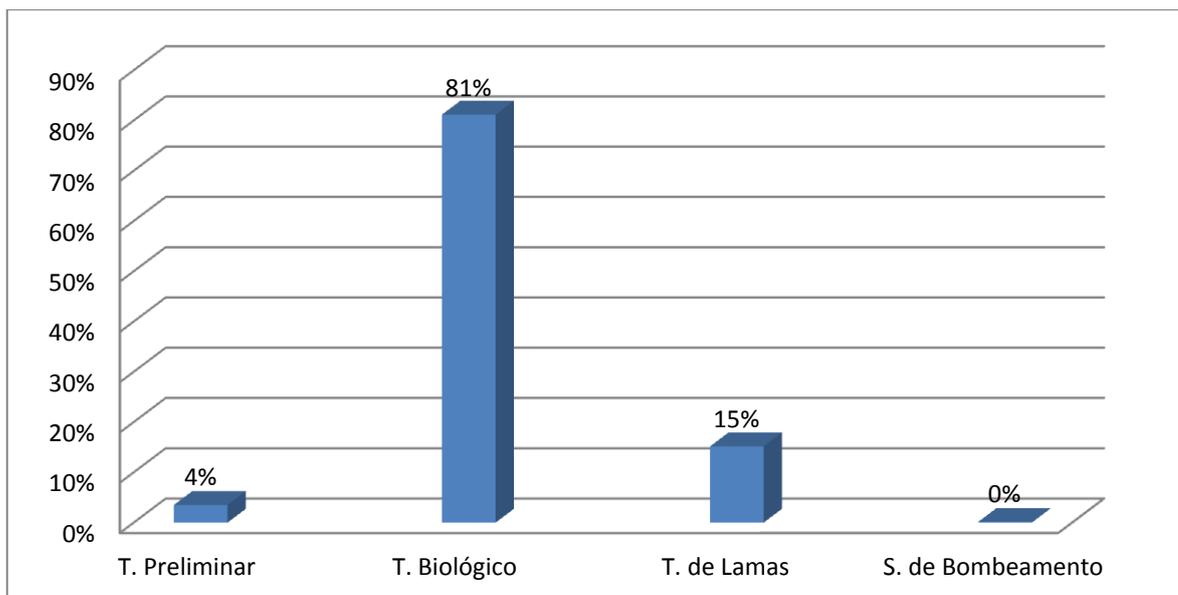


Figura 5.25- Distribuição do consumo de energia por fase de tratamento (caso A17, LAAP)

Tal como se pode observar da análise da Figura 5.26, torna-se claro que tal como para o sistema de tratamento anteriormente analisado, a etapa de tratamento que leva ao maior consumo energético é a etapa referente ao tratamento biológico, logo seguida neste caso, do tratamento preliminar e tratamento de lamas.

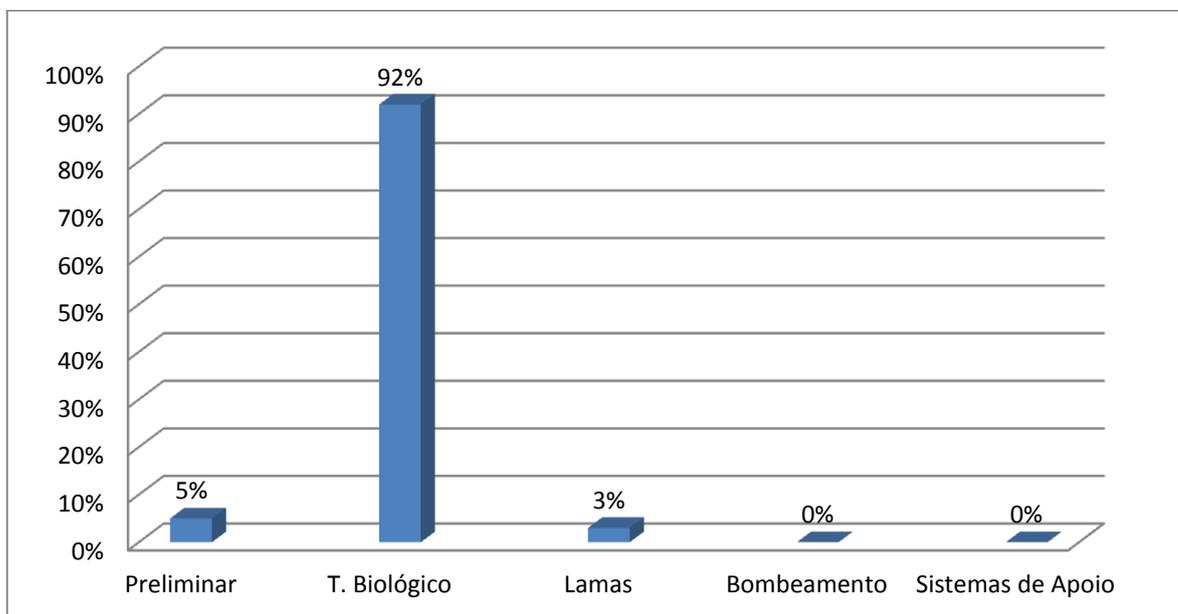


Figura 5.26 - Distribuição do consumo de energia por fase de tratamento (caso C1, LAAP-BFLM)

De realçar que dado que em relação a esta tipologia de tratamento apenas foi possível analisar uma instalação, os resultados obtidos deverão ser interpretados com as respetivas ressalvas.

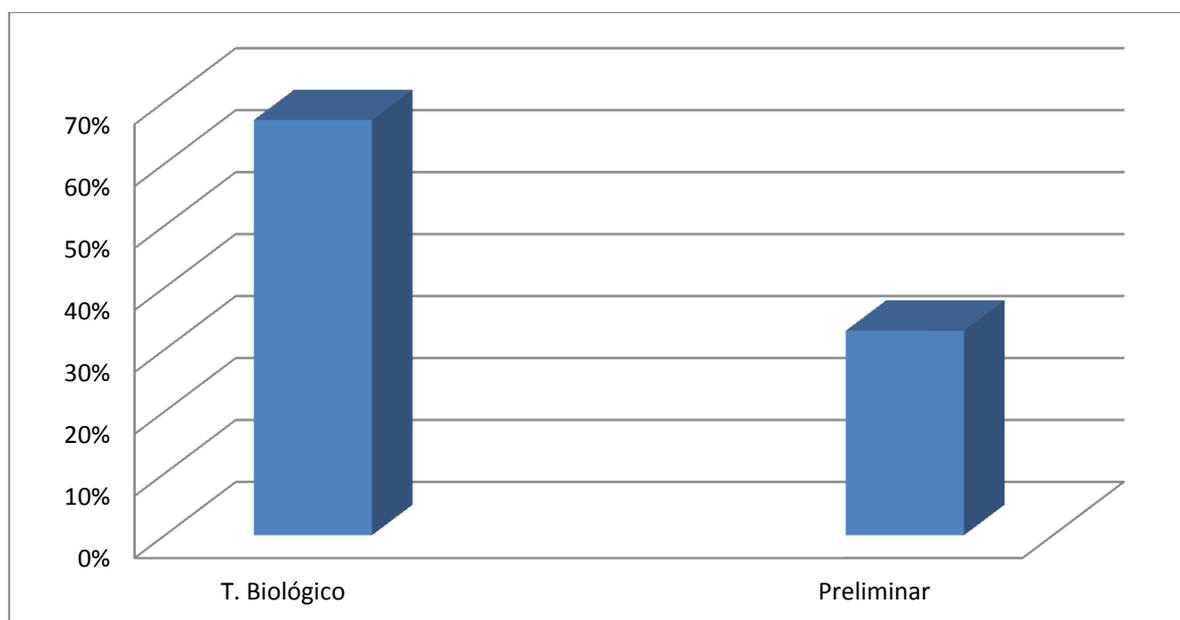


Figura 5.27 - Distribuição do consumo de energia por fase de tratamento (caso D2, LM-FV)

O caso aqui analisado na Figura 5.27 prende-se com uma instalação cuja tipologia de tratamento assenta em leitos de macrófitas de fluxo vertical. Deste modo e ao passo que nos restantes casos analisados neste estudo, o tratamento biológico ocorre nos denominados reatores biológicos, esta tipologia de tratamento não carece das necessidades energéticas anteriormente verificadas.

Tal como é possível observar, cerca de 67% da energia consumida, encontra-se alocada ao tratamento biológico. Contudo, essa mesma energia apenas se encontra disponibilizada para efetuar o transporte entre as lagoas do 1º e 2º estágio de tratamento. Deste modo e caso as cotas do local no qual se pretende edificar uma instalação com recurso a este tipo de tratamento o permitam, poderá ser dispensada a utilização de estações elevatórias para o transporte de efluente entre as lagoas, levando a que toda a etapa do tratamento biológico ocorra na sua plenitude sem necessidades energéticas para além das condições climatéricas.

Da análise dos gráficos anteriores torna-se clara a preponderância do consumo energético no tratamento biológico. Contudo e de forma a melhor compreender o peso dos diferentes processos envolvidos nesta etapa de tratamento, apresenta-se na secção seguinte, a contribuição de cada um dos componentes envolvidos nesta etapa.

4.5.2 Energia consumida no tratamento biológico

Nas Figuras 5.28 a 5.34 é representada a repartição do consumo energético necessário à realização do tratamento biológico. Desta forma torna-se possível compreender de uma forma mais clara, qual a etapa na qual se deverá intervir de forma a atenuar esses mesmos consumos permitindo a otimização do consumo energético de cada instalação.

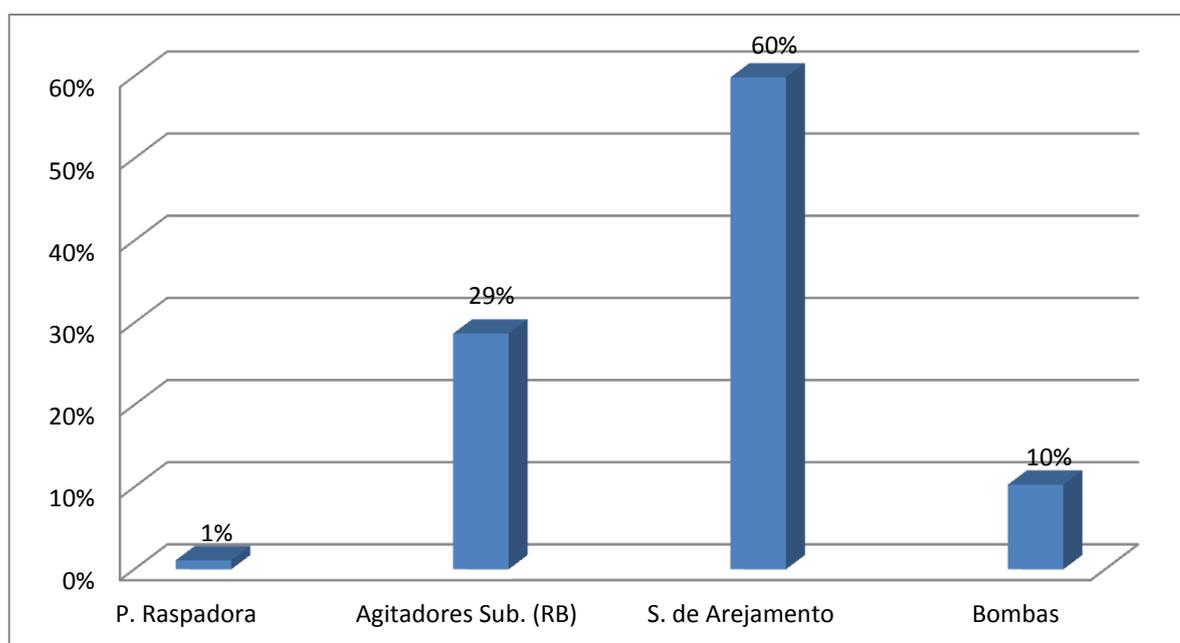


Figura 5.28 – Distribuição do consumo de energia no tratamento biológico (caso A7, LAAP)

Da análise da Figura 5.28 é-nos possível verificar a seguinte distribuição de consumo energético na ETAR A7: 60% Arejamento, 29% Agitação Reator Biológico, 10% Bombas de Recirculação e apenas 1% Ponte Raspadora Decantador Secundário.

Torna-se claro que qualquer ganho que possa advir da otimização do consumo energético terá que passar por intervenções ao nível do comando e tempos de operação do sistema de arejamento e agitadores.

De realçar que a ETAR A7 possui o sistema de arejamento comandado através de sondas de oxigénio, o que à data e dados os valores parametrizados permitia uma boa gestão do consumo energético do sistema de arejamento. Associado de forma direta ao sistema de arejamento encontra-se, neste caso, o modo de funcionamento do agitador, parametrização essa que à data permitia boas condições de homogeneização no reator biológico levando a uma maior difusibilidade do oxigénio no reator biológico, permitindo desta forma a redução do número de arranques e horas de funcionamento dos compressores do sistema de arejamento.

Torna-se ainda importante referir que o sistema de arejamento instalado assenta num sistema de arejamento de rede difusora de bolha fina, sistema que apesar dos custos de investimento mais elevados, quando comparado com outras soluções, apresenta consumos energéticos bastante mais reduzidos.

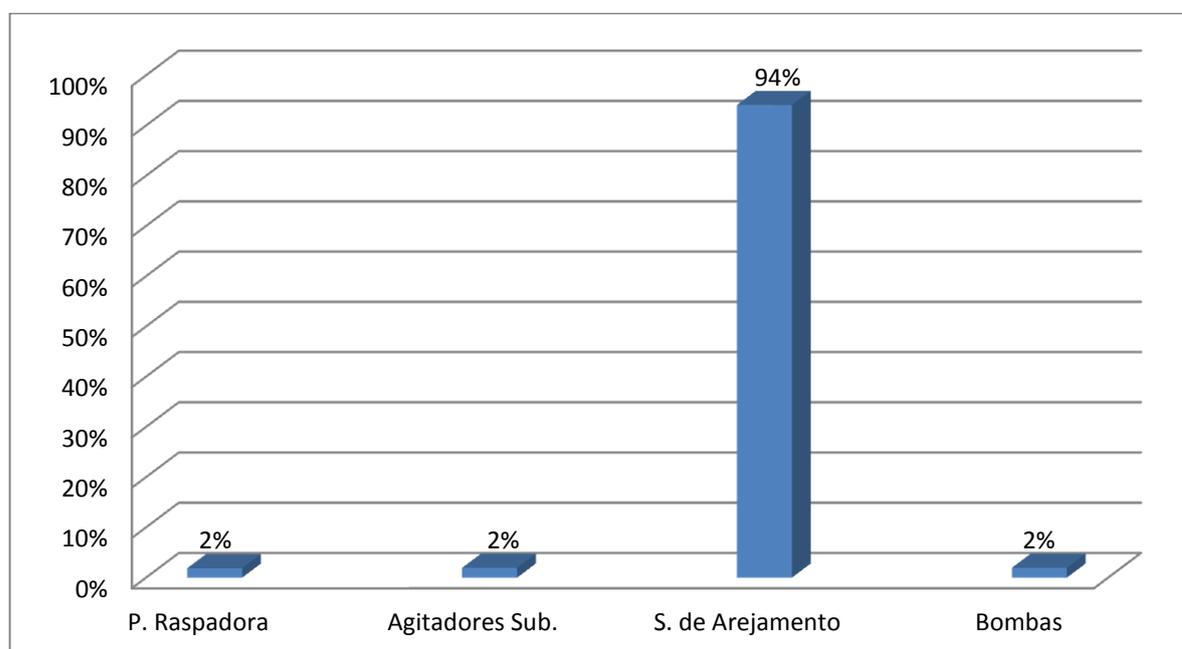


Figura 5.29–Distribuição do consumo de energia no tratamento biológico (caso A12, LAAP)

Na Figura 5.29 é-nos possível verificar a seguinte distribuição de consumos energéticos na ETAR A12: 94% Arejamento, 2% Agitação Seletor, 2% Bombas de Recirculação e 2% Ponte Raspadora Decantador Secundário.

Quando comparado com o caso A7 torna-se evidente a discrepância do consumo energético por parte do sistema de arejamento quando comparado com as restantes componentes envolvidas no tratamento secundário. Tal poderá ser justificado pelos seguintes aspetos:

- Falta de agitador no reator biológico;
- Localização das sondas de oxigénio que leva a resultados de validade discutível;
- Eficiência da transferência de oxigénio reduzida quando comparada com o equipamento instalado na ETAR A7;
- Dada a falta de agitador apenas se conseguem condições aceitáveis de mistura do licor misto, recorrendo a períodos demasiado longos de arejamento por forma a evitar a decantação das lamas no reator biológico.

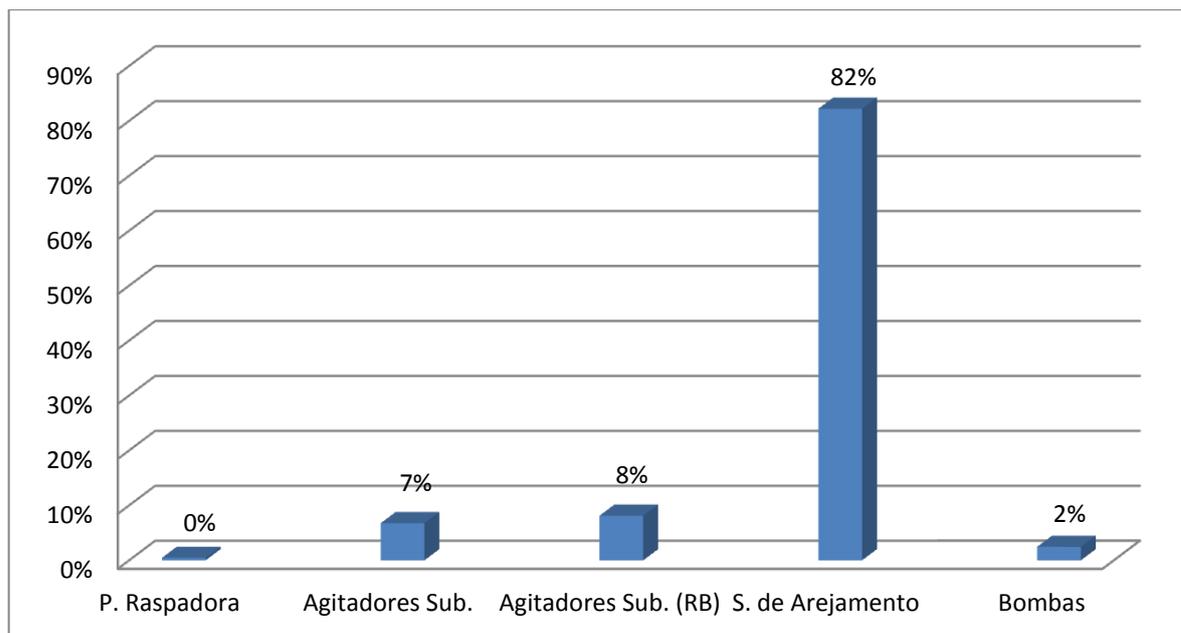


Figura 5.30- Distribuição do consumo de energia no tratamento biológico (caso A13, LAAP)

Na Figura 5.30 é-nos possível verificar a seguinte distribuição de consumos energéticos na ETAR A13: 82% Arejamento, 8% Agitação Reator Biológico, 7% Agitadores Seletor e 2% Bombas de Recirculação.

Dado o modo de funcionamento dos agitadores existentes, tanto os do seletor assim como os do reator biológico, 24h/dia, torna-se clara a preponderância dos mesmos face ao sistema de recirculação. Em relação ao sistema de arejamento, e face ao caso exposto em A7, verifica-se uma maior contribuição do mesmo quando comparado com os agitadores. Contudo, verifica-se uma preponderância menor quando comparado com o caso A12, situação explicada pela presença de agitadores no reator biológico.

No entanto e tal como no exemplo anterior, verificou-se a existência de diversos fatores que justificam os valores obtidos:

- Localização da sonda de oxigénio apenas permite leitura correta por parte de um dos equipamentos de arejamento. Caso estejamos a trabalhar com a turbina 2 ao invés da 1, o valor lido pela sonda de oxigénio será sempre 0 mg O₂/l, situação que não permite o funcionamento através de sondas com recurso a apenas este equipamento;
- Grande volume de descargas de limpa-fossas, situação que não estará devidamente contabilizada nas cargas poluentes afluentes e que leva a um aumento considerável das necessidades de arejamento;
- Sobredimensionamento da instalação e consequentemente das potências instaladas, situação que se torna mais evidente no sistema de arejamento.

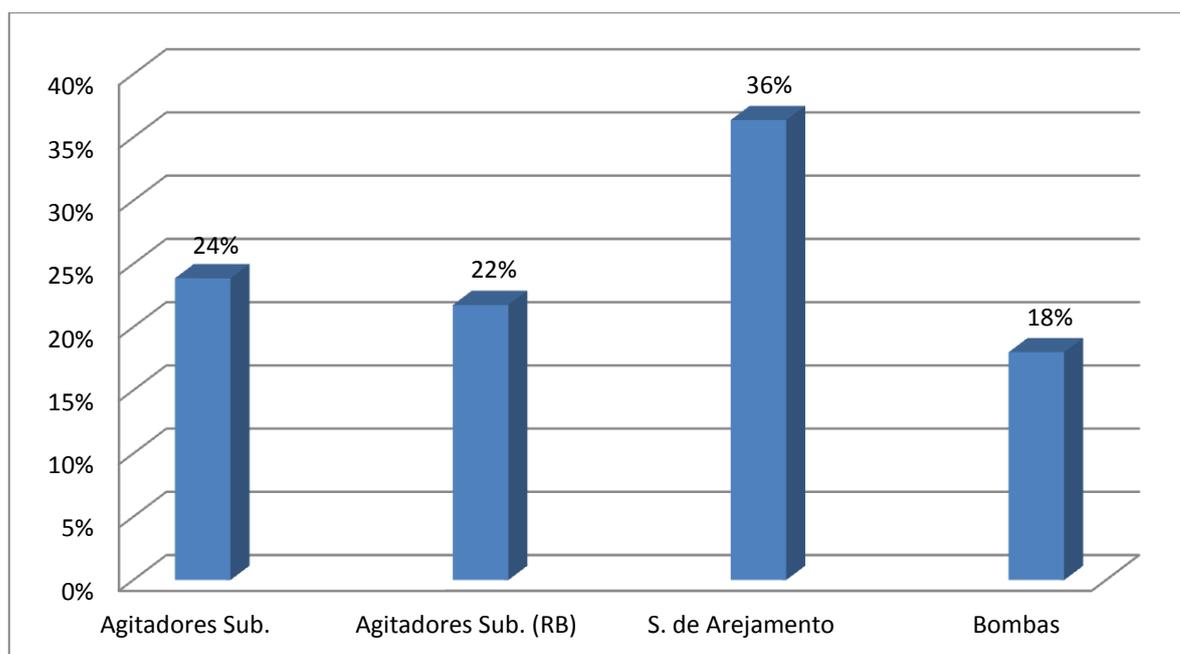


Figura 5.31- Distribuição do consumo de energia no tratamento biológico (caso A16, LAAP)

Na Figura 5.31 é-nos possível verificar a seguinte distribuição de consumos energéticos na ETAR A16: 36% Arejamento, 22% Agitação Reator Biológico, 24% Agitadores Seletor e 18% Bombas de Recirculação.

De todas as instalações alvo deste estudo, a ETAR A16 foi a que apresentou a distribuição mais equitativa do consumo energético ao longo do tratamento biológico. Contudo existem diversos fatores que justificam essa mesma distribuição:

- Possui o sistema de arejamento comandado através de sondas de oxigénio, o que à data e dados os valores parametrizados permitia uma boa gestão do consumo energético do sistema de arejamento;
- Associado de forma direta ao sistema de arejamento encontra-se, neste caso, o modo funcionamento do agitador do reator biológico que apenas funciona aquando da paragem do sistema de arejamento;
- Rede de drenagem para a ETAR com dimensão reduzida e gravítica, situação que permite uma redução elevada da carga orgânica na fase de tratamento preliminar, levando a menores necessidades de arejamento.

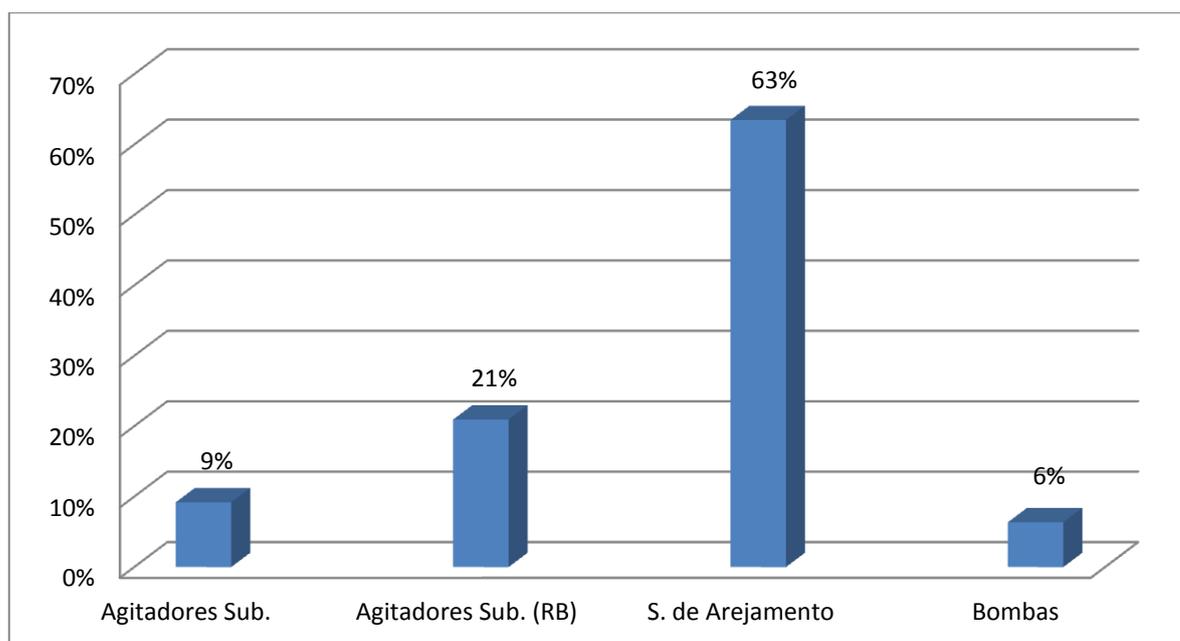


Figura 5.32- Distribuição do consumo de energia no tratamento biológico (caso A17, LAAP)

Na Figura 5.32 é-nos possível verificar a seguinte distribuição de consumos energéticos na ETAR A17: 63% Arejamento, 21% Agitação Reator Biológico, 9% Agitadores Seletor e 6% Bombas de Recirculação.

Embora a configuração do sistema de tratamento seja semelhante à instalação A16, verifica-se, embora com menor diferença para os restantes equipamentos, tal como nos casos A7, A12 e A13, um valor bastante elevado associado ao sistema de arejamento.

Para tal poderão contribuir os seguintes aspetos:

- Possui o sistema de arejamento comandado através de sondas de oxigénio, o que à data e dados os valores parametrizados, permitia uma boa gestão do consumo energético do sistema de arejamento;
- Associado de forma direta ao sistema de arejamento encontra-se, neste caso, o modo funcionamento do agitador do reator biológico que apenas funciona aquando da paragem do sistema de arejamento;
- Grande volume de descargas de limpa-fossas, situação que não estará devidamente contabilizada nas cargas poluentes afluentes e que leva a um aumento considerável das necessidades de arejamento.

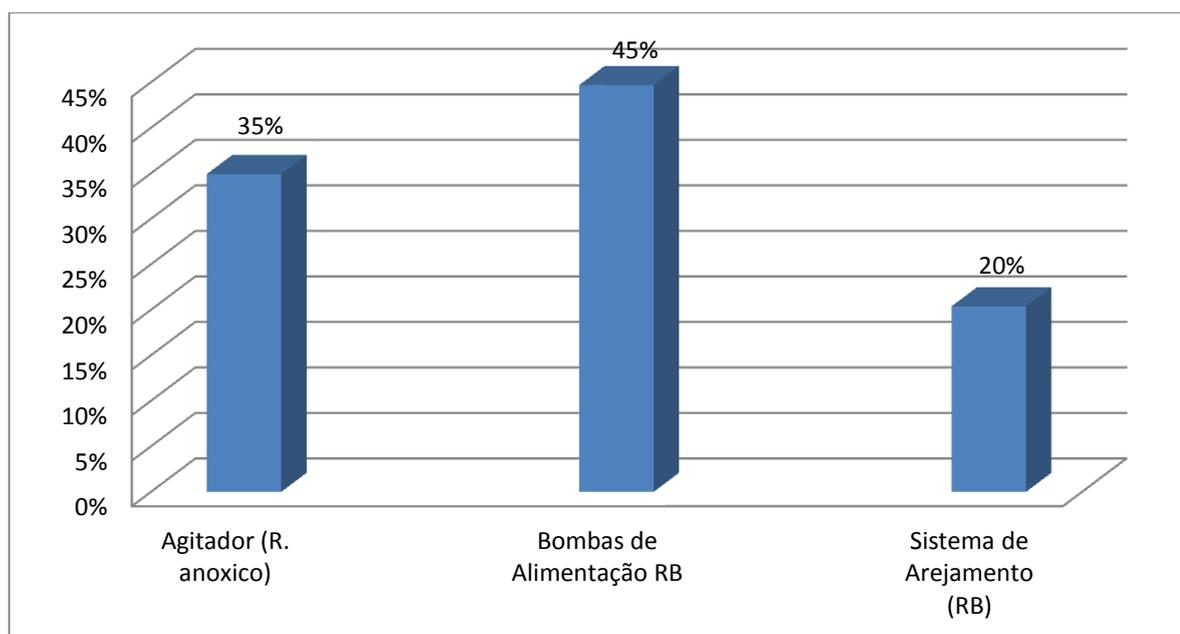


Figura 5.33 - Distribuição do consumo de energia no tratamento biológico (caso C1, BFLM)

Na Figura 5.33 é-nos possível verificar a seguinte distribuição de consumos energéticos na ETAR BFLM: 45% Bombas alimentação RB, 35% Agitador Anóxico e 20% Sistema Arejamento.

De todos os casos analisados, a ETAR BFLM foi a única na qual nos foi possível verificar uma menor utilização do sistema de arejamento face aos restantes elementos envolvidos no tratamento biológico. Contudo, tal como nos casos anteriores, verificou-se que tal decorre dos seguintes pontos:

- Tipologia de tratamento que permite um volume de reação bastante inferior caso se opte por um sistema LAAP, levando à instalação de equipamentos de potências mais reduzidas;
- Otimização do sistema de arejamento ao longo de um período de 12 meses, o qual permitiu a sua redução para set points de 12 minutos ON e 180 OFF, tendo-se ainda ao longo de 2012 reduzido o consumo energético da instalação em cerca de 50% face a Janeiro de 2011;
- Rede de drenagem para a ETAR com dimensão reduzida e gravítica, situação que permite uma redução elevada da carga orgânica na fase de tratamento preliminar, levando a menores necessidades de arejamento;
- De forma a melhorar a eficiência energética da ETAR BFLM deverá ser equacionada a possibilidade de realizar a passagem de efluente do reator anóxico para o reator biológico através de overflow, situação que permitiria a redução do consumo energético da instalação em cerca de 41% do valor atual.

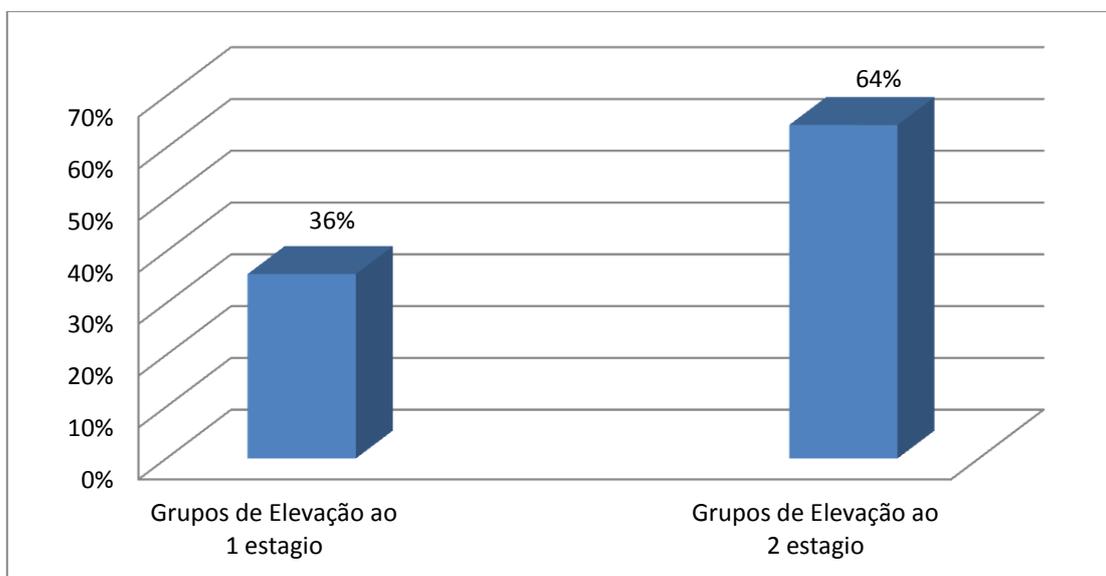


Figura 5.34-Distribuição do consumo de energia no tratamento biológico (caso D2, LM-FV)

De acordo com a Figura 5.34, para o caso D2 (ETAR LM-FV), as diferenças encontradas no maior consumo energético nos grupos de elevação ao 2º estágio quando comparados com os grupos de elevação ao 1º estágio, prendem-se com o facto de que a altura manométrica das bombas de elevação ao 2º estágio ser superior à altura manométrica do 1º estágio.

Na Figura 5.35 representa-se a distribuição do consumo de energia do sistema de arejamento no consumo global nas 7 ETAR com exceção da ETAR D2.

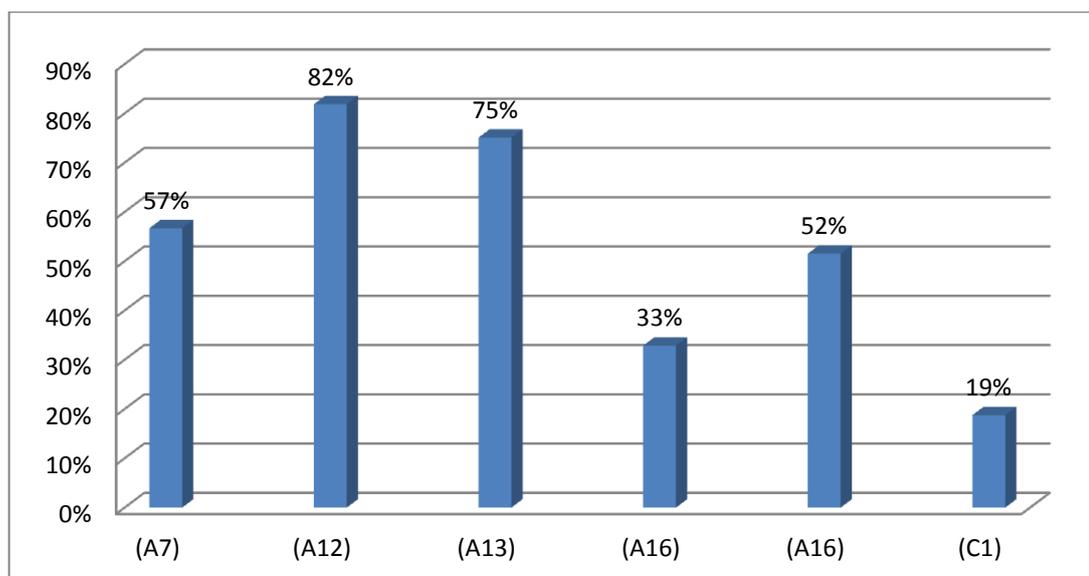


Figura 5.35 – Distribuição da percentagem do consumo de energia do sistema de arejamento no consumo global em cada caso

Uma vez que o sistema por LAAP é aquele com mais casos de estudo presente na análise realizada, optou-se por dentro deste tipo de sistema de tratamento fazer uma distinção entre sistemas de arejamento de difusor de bolha fina e arejadores de superfície, distinção com a qual se pretende “justificar” a diferença de consumos energéticos verificada entre as diversas instalações dentro deste tipo de tratamento. Foi ainda considerado o sistema de tratamento presente na ETAR C1.

De entre as instalações analisadas verificou-se a existência de sistema de arejamento com recurso a ar difuso de bolha fina nas instalações A7, A16, A17 e C1 ao passo que nas ETAR A12 e A13 o arejamento é possível através da utilização de turbinas de eixo vertical.

Como é possível observar pela análise da Figura 5.35, nas ETAR que possuem arejamento por ar difuso, verifica-se um consumo energético menos intensivo quando comparado com as ETAR que recorrem a arejadores de turbina vertical.

Em ETAR com arejamento por ar difuso verifica-se que o arejamento é, em média, responsável por 40% das necessidades energéticas das instalações, ao passo que nos restantes casos este valor se cifra na ordem dos 80%.

De realçar que os valores obtidos não deverão ser generalizados, devendo ter em consideração a limitação da amostra assim como as particularidades de cada uma das instalações analisadas neste documento.

Em relação aos sistemas de arejamento por ar difuso, quanto menor for a dimensão das bolhas de ar, maior será a área superficial disponível para trocas gasosas, aumentando a eficiência da oxigenação. Deste modo, sistemas de arejamento de bolha fina são os mais eficientes na transferência de oxigénio.

No entanto, a taxa de transferência de oxigénio poderá ser alterada de modo a ajustar-se ao consumo de oxigénio, através do controlo dos compressores e do sistema de distribuição, de modo a permitir a otimização de consumos energéticos.

Nas ETAR existentes torna-se imprescindível conhecer a capacidade de oxigenação do equipamento instalado. Da mesma forma que é monitorizada a qualidade do efluente de modo a estimar a o consumo de oxigénio (CBO) é igualmente importante ter o conhecimento da capacidade real de produção de oxigénio no reator em condições operacionais.

Esta monitorização ganha ainda mais importância ao considerarmos que existe um ponto ótimo de operação que leva a uma maior eficiência na taxa de transferência de oxigénio (massa de oxigénio fornecida por unidade de energia consumida).

4.5.3 Energia consumida por kg de CBO₅ removido (ID2)

Neste 3º caso de estudo referente às 7 ETAR, foram ainda fornecidos os valores de CBO₅ à entrada e saída das ETAR, para um dado dia de cada mês durante o ano civil de 2010. A partir do cálculo da energia consumida para esses mesmos dias, foi possível realizar o gráfico, presente na Figura 5.36 (ETAR A7, A12, A13, A16, A17 e C1).

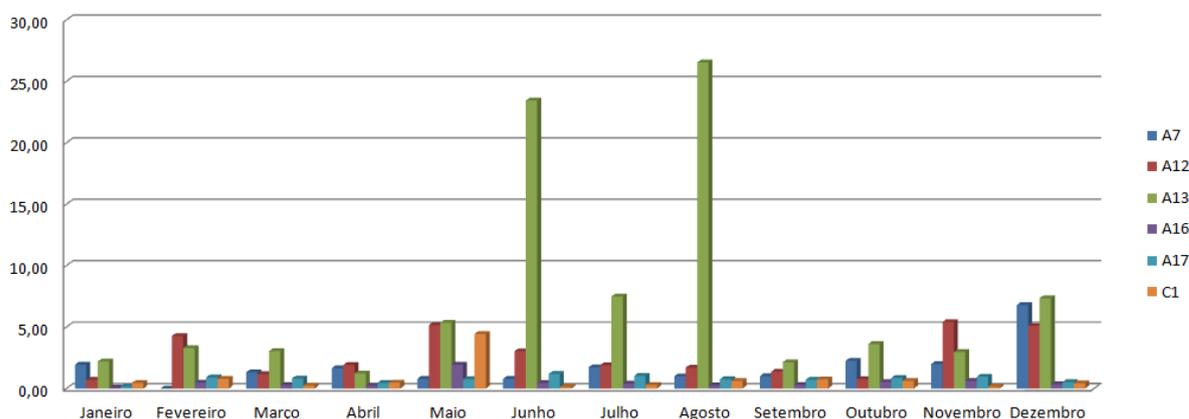


Figura 5.36 - Energia consumida (kWh)/kg de CBO₅ removido (casos A7, A12, A13, A16, A17 e C1)

Da análise da figura podemos verificar que em determinados casos, como as ETAR A7, A16 e A17, se verifica um equilíbrio ao longo do período em análise em relação aos kW consumidos por kg de CBO removido, não se verificando grandes diferenças entre os períodos do ano, supostamente mais chuvosos e os de temperaturas mais elevadas e com menor afluência de caudais pluviais.

Contudo, nos casos A12 e A13, verificam-se variações demasiado elevadas. Enquanto que no caso A12 as razões que podem explicar a variação demonstrada no gráfico se prendem com pormenores como a localização das sondas de oxigénio e com a falta de agitador no reator biológico, no caso A13 não se verifica a mesma situação. Em relação ao caso A13, a variação anteriormente observada estará relacionada com a amostra de CBO₅ afluyente nos meses de junho e agosto, que não é representativa das características de um esgoto doméstico. Deste modo e face ao valor reduzido de CBO₅ afluyente à instalação, verifica-se um valor demasiado elevado e que na realidade não reflete de forma real, nem os kg de CBO removidos nem, em consequência disso, os kw necessários para a sua remoção.

Como tal, deverá ser dada especial atenção à caracterização da água residual afluyente à instalação, devendo ser efetuada uma análise de sensibilidade de forma a excluir valores que não sejam condizentes com o normal funcionamento da instalação.

Na Figura 5.37 está representada, para o caso D2, a relação entre a energia consumida e a remoção de CBO_5 . Como se pode verificar da análise da figura, a ETAR cuja tipologia de tratamento assenta em LM – FV apresenta valores de kWh por kg CBO_5 bastantes inferiores quando comparado com as restantes instalações, situação que deverá ser alvo de especial atenção em fase de estudo prévio.

De realçar que a área de implementação para este tipo de tratamento é consideravelmente superior à necessária para a implementação de uma ETAR LAAP.

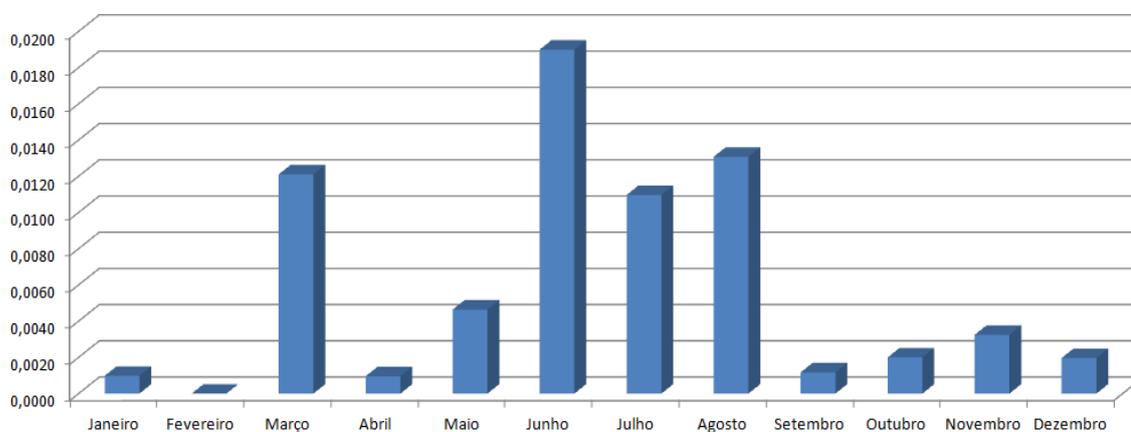


Figura 5.37 - Energia consumida (kWh)/kg de CBO_5 removido (caso D2)

5. CONCLUSÕES

Dada a preponderância do consumo energético inerente a determinados sistemas de tratamento de águas residuais e consequente custo associado aos mesmos, torna-se da maior importância, a realização de estudos que visem a sua compreensão e no limite, a sua atenuação.

Foi com base neste pressuposto que se procedeu à análise explicitada neste mesmo documento.

Deste modo e embora se tenha partido de um universo de 26 ETAR de uma única entidade gestora, os dados fornecidos pela mesma apenas permitiram a incidência de um estudo mais aprofundada em 13 instalações.

Dentro das instalações analisadas, 12 preconizam um sistema de tratamento de lamas ativadas por arejamento prolongado e 1 um sistema de tratamento que tem por base, leitos de macrófitas de fluxo vertical.

De entre as 12 instalações de LAAP, verificou-se a existência de diversas tipologias de tratamento, LAAP sistema tradicional, LAAP – vala de oxidação, LAAP – fluxo diagonal, LAAP – SBR e LAAP – biomassa fixa em leito móvel.

Associada à variedade de tipologias de tratamento dentro do grupo LAAP, verificou-se ainda uma diversidade de tipologias de equipamentos eletromecânicos com a mesma finalidade.

Como resultado dessa mesma variedade de equipamentos, verifica-se inevitavelmente em termos energéticos, maiores ou menores necessidades, consoante a tipologia de equipamento instalado. A título de exemplo, a instalação de uma unidade de desidratação mecânica com recurso a centrifuga, necessita indubitavelmente de uma potência contratada bastante superior, caso de opte pela instalação de um filtro banda, situação que acarreta maiores custos de instalação e exploração em termos energéticos e não só.

No decorrer da análise efetuada verificou-se que em média, em sistemas de LAAP e independentemente da tipologia de tratamento analisada, cerca de 90% do consumo energético ocorre aquando do tratamento biológico.

Face ao exposto estaremos em condições de afirmar que deverá ser dada especial atenção, em fase projeto assim como em fase de exploração, à seleção e condições de operação das instalações e consequentemente dos equipamentos eletromecânicos instalados.

Como resultado do anteriormente exposto verificaram-se consumos energéticos bastante diferenciados em instalações nas quais a tipologia do sistema de arejamento diferia entre si.

Tendo sido observado que em sistemas cujo fornecimento de oxigénio depende de sistemas por ar difuso, o consumo energético nesta fase de tratamento apresenta valores bastante inferiores quando comparado com sistemas com recurso a arejadores de superfície.

Ao longo do estudo foram identificadas diversas situações que poderão de algum modo ter influenciado os resultados obtidos.

De entre as situações identificadas importa realçar os resultados analíticos das amostras de afluente bruto. Foi possível verificar diversas amostras cujas características não se coadunam com as representativas de efluente doméstico, situações que podem levar a conclusões erróneas (caso CBO₅, junho e agosto, A13).

Importa ainda referir que devido a situações em que se verifica um sobredimensionamento das instalações de tratamento de águas residuais, se torna evidente um consumo energético bastante elevado, situação que resulta de todo um sobredimensionamento não só dos órgãos de construção civil, assim como dos equipamentos eletromecânicos associados.

Desta forma e como desiderato deste estudo, foi possível compreender o impacte em termos de consumo energético que opções como a tipologia de tratamento e seleção de determinados equipamentos acabam por ter nos custos de exploração das instalações.

Será de todo o interesse por parte das entidades gestoras a implementação de programas de controlo e otimização de consumos energéticos de forma a reduzir os mesmos.

De forma a aprofundar o estudo efetuado, propõe-se que a aplicação da metodologia apresentada a um maior número de casos de instalações em condições reais de forma a permitir a validação dos resultados apresentados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Decreto Regulamentar n°23/95 23 Agosto, D.R.1ªSérie - B, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 194 (1995-08-23),pp. 5284- 5320. Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais

Despacho n°2339/2007, D. R. 2ªSérie, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 32 (2007-02-14), pp. 3922-3964.

DGEG @ (2012). Direção Geral de Energia e Geologia <http://www.dgeg.pt/>

EDP @ (2013). Energias de Portugal <http://www.edpannualreport.edp.pt/>

ERSAR (2011) “Relatório anual do sector de águas e resíduos em Portugal- 2010 Volume 3 Avaliação da Qualidade do Serviço Prestado aos Utilizadores”

INSAAR (2011) “Relatório do Estado do Abastecimento de Água e da Drenagem e Tratamento de Águas Residuais. Sistemas Públicos Urbanos. INSAAR 2010”. Julho de 2011.

NOPON (1997). “The Nopol disc diffuser versions”. Manual n° 997.

PORDATA @ (2013). Base de Dados de Portugal Contemporâneo <http://www.pordata.pt>

³Quintela, A. (2007). “Hidráulica”,10ªedição. Fundação Calouste Gulbenkian, Serviço de Educação e Bolsa.

Recomendação do Conselho 2010/410/UE de 13 Julho de 2010 relativa às orientações gerais para as políticas económicas Estados Membros e da União, Jornal Oficial da União Europeia, L 191 (2010.7.23),pp.28-34

Robert, A. e Mats, H. (2006). “Energy Conservation in Wastewater Treatment Operations - a case study at Himmerfjärden WWTP”. Department of Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund University

³Temido, J. (2010). “Projeto e Exploração de ETAR”. Departamento de Engenharia Civil de Coimbra, Coimbra

WEF (1997). “Energy Conservation in Wastewater Treatment Facilities”. –Manual of Practice No.FD-2

³ Bibliografia não referida no texto

ANEXO A

Quadro A.1 - Lista de dados das 26 ETAR, caso 1

		Pop.Dim.	Pop.2010	P. Contratada(kW)	Energia (kWh)	CBO ₅ Removido (Kg/ano)	Caudal (m ³ /ano)	
LAAP	BT	A1	2755	1566	20,7	68988	34292,00	104231
		A2	1100	687	20,7	27470	15039,96	48360
		A3	3000	718	17,25	52454	15724,16	54788
		A4	700	204	17,25	36316	4461,31	11410
		A5	3000	2373	17,25	66685	51979,20	123760
		A6	500	224	10.35(KVA)	17124	4885,23	8115
	MT	A7	7693	5056	74,4	225208	110716,16	420974
		A8	4700	5351	46,5	168765	117197,28	325548
		A9	15000	5721	116,25	237312	125295,14	480058
		A10	2000	717	74,4	114048	15697,26	42540
		A11	11500	4849	46,5	216312	106197,07	577158
		A12	5100	3838	74,4	301524	84049,53	288830
		A13	21000	7235	186	418477	158401,90	847069
		A14	3800	1831	46,5	149616	40084,44	212087
		A15	3500	3135	46,5	112726	68639,82	540471
		A16	2000	854	46,5	59933	18702,19	71111
		A17	5125	2516	46,5	116904	55080,93	157825
SBR	MT	B1	2708	1314	74,4	164059	28770,50	130775
		B2	950	350	23,25	44796	7651,15	10746
		B3	6500	2553	74,4	21305	55907,85	153593
		B4	11667	3585	84,2	20928	78522,59	144343
		B5	7250	4465	74,4	15456	97775,04	363476
LAAP-BFLM	MT	C1	615	705	46,5	4975	6912,08	12343
LM - FV	BT	D1	500	316	20.7(KVA)	840	20542,12	24339
		D2	900	938	20.7(KVA)	6228	27560,02	52197
		D3	2500	1259	20.7(KVA)	79603	5824,94	20086
LP	MT	E1	213350	161410	465	1071300	3534868,82	12231380

ANEXO B

Quadro B.1 - Lista dos equipamentos e potências de 13 ETAR, caso 2

	T.Preliminar	P. (kW)	T.Secundário	P. (kW)	T.Lamas	P. (kW)
A1	Grade Mecânica	0,75	Agitador Submersível	1,41	-	
	Soprador	2,2	Soprador p. Arej. 1	7,5		
	Desarenador por ar dissolvido	0,75	Soprador p. Arej. 2	7,5		
			ElectroB.1 (Recir. e exc.)	2,2		
			ElectroB.2(Recir. e exc.)	2,2		
A7	Tamisador-Compactador	0,92	Agitador Sub.(T.de Arej.)	11,5	Pente espessador	0,12
			Soprador1(Sobrepessor)	30	Agitador Sub.(limpa-fossas)	4,1
	Aeroflot do Desarenador/Desengordurador	0,65	Soprador2(Sobrepessor)	30	Agitador Sub. (lamas compactas)	4,1
			ElectroB.1 (Recir. e exc.)	5	ElectroB. Sub. (lamas compactas)	1,3
			ElectroB.2(Recir. e exc.)	5	Centrífuga	11
A9	-		Arej. 1	22	ElectroB. Sub. (lamas exc. 1)	3
			Arej. 2	22		
			Arej. 3	22	ElectroB. (doseadora poli 1)	0,25
			Arej. 4	22		
			ElectroB. Submersível (recir. 1)	9,3	ElectroB. (doseadora poli 2)	0,25
			ElectroB. Submersível (recir. 2)	9,3		
			ElectroB. (escumas 1)	4,5	ElectroB. (Lamas)	1,5
Ponte raspadora	0,25	Centrífuga	11			
A12	Tamisador-Compactador	1,01	Agitador Sub. (Selector)	1,5	ElectroB.lamas em exc. 1	1,5
			Agitador Sub. (fossas sépticas)	1,5		
	Aeroflot do Desarenador/Desengordurado	0,18	Arej.1	22	Mesa espessadora	0,55
			Arej.2	22	Agitador Sub. (lamas espessadas)	1,5
			ElectroB. Sub. (recir. de lamas1)	1,5	ElectroB. doseadora polímero 1	0,25
			ElectroB. Sub. (escumas1)	2	ElectroB. doseadora polímero 2	0,25
ElectroB. Sub. (fossas sépticas)	1,3					
A13	Unidade Compacta : Desarenador por ar dissolvido Desengordurador Tamisador-Compactador ElectroB. de Gorduras Triturador	0,75 0,12 1,1 1,5 4	Agitador Sub.1 (homog. lamas)	1,25	Espessador de Lamas	0,25
			Agitador Sub.2(homog. lamas)	1,25		
			Agitador Sub3 (homog. lamas)	1,25	ElectroB. (lamas 1)	2,2
			Agitador Sub.l2(R.Biológico)	3,1	Agitador de polímero 1	0,37
			Agitador Sub.l1(R.Biológico)	3,1	Agitador de polímero 2	0,37
			Arej.1	45	ElectroB.(polímero) 1	0,55
			Arej.2	45	ElectroB. (lamas desidratadas)	0,25
			ElectroB.(recir. de lamas 1)	2,6	Centrífuga	30
			ElectroB.(recir. de lamas 2)	2,6		
			Ponte Raspadora	0,25		

Quadro B.1 - Lista dos equipamentos e potências de 13 ETAR, caso 2 (cont.)

	T.Preliminar	P.(kW)	T.Secundário	P.(kW)	T.Lamas	P.(kW)
A15	Grade Mecânica Tamisador	1,1 0,55	Agitador Submersível 1	1,79	ElectroB. (lamas 1) Agitador de polímero ElectroB. Submersível (lamas 1) Filtro Banda	0,75 0,37 1,9 1,5
			Agitador Submersível 2	1,79		
			Soprador p. arej 1	11		
			Soprador p. recir.	4		
A16	Grade Mecânica Tamisador- Compactador Ponte Raspadora Concentrador de Gorduras Soprador1 Electrobomba Submersível Classificador de areias	0,16 0,55 0,12 0,37 0,75 0,4 0,18	Agitador Sub. (selector) 1	1,25	ElectroB. Sub.1 (lamas exc.) 1 ElectroB. Sub.1 (lamas exc.) 2	1,3 1,3
			Agitador Sub. (selector) 2	1,25		
			Agitador Sub. (selector) 3	1,25		
			Agitador Sub. (tanque de arej.) 1	1,25		
			Agitador Sub. (tanque de arej.) 2	1,25		
			Soprador(arej.)1	5,8		
			ElectroB. Sub.(recir. de lamas 1)	1,8		
			ElectroB. Sub.(recir. de lamas 2)	1,8		
A17	Grade Mecânica Tamisador- Compactador Ponte Raspadora Concentrador de Gorduras Soprador1 Electrobomba Submersível Classificador de areias	0,16 0,55 0,12 0,37 0,75 0,4 0,18	Agitador Sub. (selector) 1	1,25	ElectroB. Sub. (exc. de lamas) 1 ElectroB. Exc. 1 ElectroB. de lamas desidratadas (parafuso) 1 ElectroB. de lamas espessadas (parafuso) 1 Centrífuga	1,3 1,3 1,1 1,1 15
			Agitador Sub. (selector) 2	1,25		
			Agitador Sub. (selector) 3	1,25		
			Agitador Sub. (tanque de arej.) 1	1,25		
			Agitador Sub. (tanque de arej.) 2	1,25		
			Soprador(arej.)1	5,8		
			ElectroB. Sub.(recir. de lamas 1)	1,8		
			ElectroB. Sub.(recir. de lamas 2)	1,8		
B3	Desarenador por ar dissolvido Desengordurador Tamisador Soprador 1 (u. compacta)	1,1 0,55 1,1 3	Agitador / Misturador Sub. (T. de equalização)	7,5	ElectroB. Sub.(lamas em exc. 1)	1
			Agitador / Misturador Submersível (TB1)	5,5		
			Agitador / Misturador Submersível (TB2)	5,5		
			Soprador 1 (r. biológico)	22		
			Soprador 2 (r. biológico)	22		
			ElectroB. Sub.(recir. e alm. ao SBR 1)	2		

Quadro B.1 - Lista dos equipamentos e potências de 13 ETAR, caso 2 (cont.)

	T.Preliminar	P.(kW)	T.Secundário	P.(kW)	T.Lamas	P.(kW)
B4	Desarenador por ar dissolvido Desengordurador Tamisador Soprador 1 (u. compacta)	1,1 0,55 1,5 2,6		15	Espessador de lammas ElectroB. (lammas 1) ElectroB.doseadora de Polimero 1 ElectroB. de elevação ao silo de l.desidratadas Centrífuga	0,12 2,2 0,75 0,95 11
			Agitador/Misturador Sub. (T. anoxico)	5,5		
			Agitador/Misturador Sub. (T. biológico 1)	5,5		
			Agitador/Misturador Sub. (T. biológico 2)	22		
			Soprador 1 (sistema de arej. difusores)	22		
			Soprador 2 (sistema de arej. difusores)	0,37		
			ElectroB. doseadora de sulfito de alumínio 1	2		
			ElectroB. submersível (T. anoxico 1)	2		
			ElectroB. submersível (T. anoxico 2)	2		
ElectroB. submersível (T. anoxico 3)	2					
B5	Grade Mecânica Soprador (desarenamento) Desengordurador Compressor (ar de serviço) Classificador de areias	1,1 1,1 0,65 2,2 0,55	Agitador Submersível 1	10	ElectroB. (ext. e exc. 1)	3,45
			Agitador Submersível 2	10	ElectroB. (ext. e exc. 2)	3,35
			Soprador (arej. 1)	45	Espessador de lammas	0,18
			Soprador (arej. 2)	45	Agitador de polímero	0,37
			Ponte Raspadora	0,37	Agitador Lamas	0,37
					ElectroB. doseadora de Polimero 1	0,37
					Filtro de Partículas	0,18
					Tapete transportador	0,37
		Filtro Banda	1,1			
		ElectroB.(elevação de lammas)	3			
C1	Desarenador por ar dissolvido Desengordurador Tamisador Soprador 1 (u. compacta)	1,1 2,2	Agitador/Misturador sub.	25	ElectroB. submersível - poço seco (EE lammas exc. 1)	1,4
			Soprador(arej.)1	11		
			ElectroB. Submersível(T. equalização 1)	1,6		
D2	Tamisador - Compactador Desarenador Desengordurador	1,5 1,1 0,12	ElectroB. Submersível(poço 1-1)	1,3	-	
			ElectroB. Submersível(poço 1-2)	1,3		
			ElectroB. Submersível(poço 1-3)	2		
			ElectroB. Submersível(poço 2-1)	2		
			ElectroB. Submersível(poço 2-2)	2		

ANEXO C

Quadro C.1.- Quadro com a lista de equipamentos, potência e horas de funcionamento, caso A7

	P(kW)	Horas Funcionamento (h)												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Agt	Set	Out	Nov	Dez	
T.Preliminar	Tamisador rotativo	0,92	577	475	576	533	515	548	458	564	547	560	676	598
	Desengordurador	0,65	10	33	42	35	37	39	33	42	40	42	41	37
T.Secundário	Agitador Submersível (T. de arej.)	11,50	402	360	376	298	360	217	270	359	426	441	455	387
	Soprador 1 (sobrepessor)	30,00	128	142	160	145	117	140	160	175	134	135	124	129
	Soprador 2 (sobrepessor)	30,00	150	149	186	150	126	152	160	193	143	144	128	110
	ElectroB.1 - poço seco (recir. e ext.)	5,00	87	2	0	0	0	0	0	0	0	0	77	117
	ElectroB. 2 - poço seco (recir. e ext.)	5,00	326	390	462	366	388	164	270	206	201	235	187	118
T,Lamas	Pente espessador	0,12	577	502	570	528	567	638	399	565	617	566	553	543
	Agitador Submersível (limpa-fossas)	4,10	15	8	15	12	32	5	7	12	30	15	24	12
	ElectroB. trituradora de fossas	1,30	21	11	21	17	30	6	11	14	23	21	35	18
	Centrífuga	11,00	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Ponte raspadora	0,25	655	641	715	587	596	551	499	719	696	716	703	624

Quadro C.2.- Valores de CBO₅ e energia consumida, caso A7

	Valor de CBO ₅ Entrada (mg O ₂ /l)	Valor de CBO ₅ Saída (mg O ₂ /l)	Energia consumida (kWh)
17-01-2010	350	10	527,88
07-02-2010	-	-	-
06-03-2010	420	11	433,32
17-04-2010	370	10	477,66
17-05-2010	400	10	247,69
20-06-2010	400	10	243,61
11-07-2010	370	10	499,03
08-08-2010	580	12	451,54
19-09-2010	500	10	396,41
24-10-2010	230	10	396,02
14-11-2010	250	10	383,24
19-12-2010	80	10	380,69