

# Análise do Potencial de Eutrofização Associado à Operação de uma ETAR Urbana

Mateus Mestriner Pituco  
Escola Superior Agrária  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
mateuspituco@gmail.com

Artur Gonçalves  
Centro de Investigação de Montanha (CIMO), ESA  
Instituto Politécnico de Bragança,  
Bragança, Portugal  
ajg@ipb.pt

Eduardo Eyng  
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Medianeira, Brasil  
Eduardoeyng@utfpr.edu.br

Manuel Feliciano  
Centro de Investigação de Montanha (CIMO), ESA  
Instituto Politécnico de Bragança,  
Bragança, Portugal  
msabenco@ipb.pt

**Resumo**— A principal função das ETARs é proporcionar uma redução da carga contaminante das águas residuais, devendo ter por referência indicadores de sustentabilidade ambiental. Neste trabalho, propôs-se aplicar a metodologia de ACV a uma ETAR urbana, tendo por objetivo quantificar o potencial de eutrofização associado à operação da ETAR, incluindo processos a montante e a jusante. O inventário do ciclo de vida teve por base dados referentes a dois anos civis e a unidade funcional utilizada foi de 1 metro cúbico de água residual afluente à ETAR. Os resultados apontam para o descarte das lamas desidratadas no solo (79,87%) e a descarga do efluente no ambiente (19,42%) como os principais impactos associados à fase de operação do sistema de tratamento. Em relação à composição do efluente a presença de azoto e fósforo apresentam um contributo de aproximadamente 90%, sendo o restante 10% resultantes da presença de matéria orgânica carbonácea (CQO). Neste sentido, foi possível compreender os efeitos que apontam para as principais contribuições que necessitam ser levadas em consideração ao analisar o indicador potencial de eutrofização.

**Palavras-Chave**— Avaliação do ciclo de vida; Estação de Tratamento de Águas Residuais; impacte ambiental.

## I. INTRODUÇÃO

A maior parte dos sistemas de tratamento de águas residuais existentes foi planeada para responder apenas a necessidades de saúde pública e preservação dos ecossistemas naturais. Atualmente, com o aumento das preocupações ambientais e o avanço tecnológico, estes sistemas de tratamento devem ser projetados e explorados, tendo por base indicadores mais abrangentes de sustentabilidade ambiental, como otimizar o uso de energia e o consumo de água, reduzir a produção de resíduos sólidos, reduzir as emissões de gases de efeito de estufa, reduzir as emissões ou de precursores de oxidantes fotoquímicos, entre outros.

É neste contexto que surge a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), como metodologia capaz de apoiar a gestão eficiente das operações e dos processos que integram as Estações de

Tratamento de Águas Residuais (ETAR). Diversos são os estudos que abordam a ACV como metodologia para avaliar aspetos relacionados com o tratamento de águas residuais [1] [2] [3] [4].

Os autores [5] realizaram um importante levantamento quanto ao estado da arte da ACV, promovendo uma revisão crítica de artigos considerados relevantes sobre o tema, descrevendo os principais desafios aplicados a ETARs. Em Espanha, Gallego *et al.* [6] avaliaram treze ETARs de baixa dimensão (menor que 20.000 e.p.), a fim de identificar as menos impactantes em termos ambientais. Vidal *et al.* [7] apresenta um estudo de ACV cujo objetivo foi compreender as implicações ambientais resultantes da mudança de tecnologia no tratamento, para cumprir a legislação vigente no que respeita a remoção biológica do azoto. No estudo apresentado por Foley *et al.* [8] compreende-se a ACV aplicada na quantificação e avaliação de inventários para 10 diferentes cenários de tratamento de águas residuais, entre eles a investigação desde a descarga do esgoto bruto para o ambiente até sistemas avançados de remoção de nutrientes, considerando as etapas de construção e operação da ETAR.

Neste trabalho, propôs-se aplicar a metodologia de ACV a uma ETAR urbana localizada no norte de Portugal, com o objetivo de inventariar e quantificar o desempenho ambiental direto e indireto da etapa de operação quanto ao contributo do potencial de eutrofização no ecossistema.

## II. MATERIAL E MÉTODO

### A. Âmbito, Unidade Funcional e Fronteira do Estudo

A aplicação da ACV respeita as abordagens previstas nas normas [9] e [10]. A unidade funcional adotada foi 1 m<sup>3</sup> de água residual afluente à ETAR, também adotada por outros autores (e.g., [3]).

O âmbito deste estudo abrange a avaliação do potencial de eutrofização associado à fase de operação da ETAR, procurando-se desagregar o impacte global por um conjunto de

processos que ocorrem na própria estação de tratamento, mas também a montante e a jusante desta. Além disso, estabeleceu-se uma relação entre o potencial de eutrofização decorrente do funcionamento da ETAR e de uma situação de referência associada à descarga do efluente bruto sem tratamento.

A delimitação da fronteira do sistema (Fig. 1) contempla a fase de operação dos sistemas de tratamento, não considerando as etapas de recolha e drenagem das águas residuais, nem as fases de construção e desmantelamento da ETAR.

O sistema de tratamento integra fundamentalmente três linhas: a líquida, que compreende as etapas de tratamento preliminar, primário (físico-químico) e secundário (biológico - fase anóxica seguida por lamas ativadas e decantação); a linha sólida, na qual as lamas primárias e biológicas são misturadas e encaminhadas para um espessador gravítico, seguindo para digestão anaeróbia e desidratação; e a linha gasosa, em que o biogás produzido na fase sólida é encaminhado para a queima em *flare* e/ou usado na produção de energia térmica, para aquecimento dos digestores, ou para produção de energia elétrica.

O afluente da ETAR apresenta um caudal médio de 5685 m<sup>3</sup>/dia, proveniente de uma população de aproximadamente 42.000 habitantes. O efluente tratado é descarregado num sistema lóxico local. A ETAR tem capacidade instalada para cumprir os limites de descarga legais [11] [12] relativos à CQO, CBO<sub>5</sub>, SST e Azoto Total.

As lamas desidratadas, com concentração média de 17% de matéria seca, têm por destino a emissão direta para o solo agrícola. Esta é uma suposição ampla e percebida em estudos como de Mcnamara *et al.* [13]. Os resíduos originários na etapa do tratamento preliminar (inorgânicos, areias e gorduras) são destinados ao aterro sanitário consorciado na região.

### B. Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

O inventário foi elaborado com base em dados/informação, referentes a dois anos civis, providenciados através da empresa responsável pela gestão da ETAR e obtidos por meio de visitas à estação de tratamento. A tabela I mostra os principais inputs e outputs do sistema, expressos em relação à unidade funcional (U.F). Paralelamente, recorreu-se a literatura específica e a modelos matemáticos para suprir as lacunas existentes nos dados primários, como pode ser visualizado na tabela II. A qualidade dos dados é determinante para a confiabilidade dos resultados e, conseqüentemente, para a significância e a transparência do estudo [13].

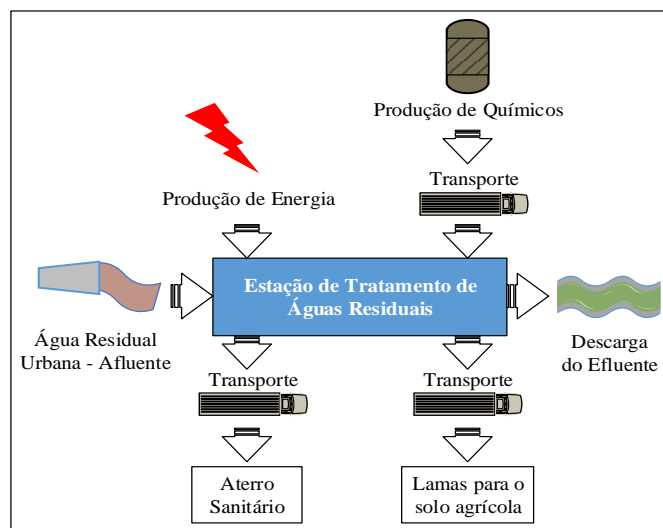


Figura 1. Fronteira do sistema de estudo

Tabela I. Inventário dos dados

Inputs	Unidade	Valor
Eletricidade	kWh/U.F*	0,27
Consumo de Químicos		
Cal hidratada	g/U.F	1,13
Polímero	g/U.F	0,36
Hipoclorito de Sódio	g/U.F	0,25
Composição Afluente		
CQO	g/U.F	547
Azoto total (Nt)	g/U.F	73
Fósforo total (Pt)	g/U.F	9
Outputs	Unidade	Valor
Resíduos inorgânicos, areias e gorduras	g/U.F	60,1
Biogás	m <sup>3</sup> /U.F	3,29E-03
Queima em <i>Flare</i>	%	35,97
Produção de energia térmica	%	64,03
Emissão para a água – Efluente		
CQO	g/U.F	42
Remoção CQO	%	92
Azoto total (Nt)	g/U.F	10
Remoção Nt	%	86
Fósforo total (Pt)	g/U.F	0,5
Remoção Pt	%	94
Emissões para o solo		
Lamas	g/U.F	324,11
Azoto total (Nt)	g/U.F	4,30
Fósforo total (Pt)	g/U.F	8,37
Emissões atmosféricas		
N <sub>2</sub> O	g/U.F	0,57
NO <sub>x</sub>	g/U.F	5,37E-04

\*U.F – Unidade Funcional

Tabela II. Parâmetros para elaboração do inventário

Dados do Inventário	Referência
Caudal afluente/efluente	Medido pela ETAR
CBO, CQO, Nt, Pt, SST e gorduras	Medido pela ETAR
Resíduos inorgânicos e areias	Medido pela ETAR
Volume de lamas desidratadas	Medido pela ETAR
Emissão de gases	Literatura [14] e [15]
Biogás (queima e geração de calor)	Medido pela ETAR
Consumo de eletricidade	Medido pela ETAR
Consumo de produtos químicos	Medido pela ETAR
Produção do mix energético	Base de dados <i>Gabi 6.0</i>
Produção de químicos	Base de dados <i>Gabi 6.0</i>
Transporte (camião/diesel)	Base de dados <i>Gabi 6.0</i>
Aterro sanitário	Base de dados <i>Gabi 6.0</i>

Os processos específicos adotados a partir das bases de dados do *software GaBi 6.0* foram os seguintes:

- Produção do mix energético: adotado a partir do cenário português relacionado a 2012, com 28,08% da eletricidade produzida com a queima de carvão, 22,89% a partir de gás natural, 22,01% da eólica, 14,29% de óleo combustível, 5,36% de biomassa e menores participações com geotérmica, fotovoltaica, hidroelétrica, resíduos e biogás.
- Produção de químicos: a principal adição de químicos está ligada ao processo de desidratação das lamas com o uso do polímero floculante poliacrilamida catiónico. Por não apresentar processos de caracterização deste polímero nas bases de dados, adicionou-se ao modelo a produção da acrilonitrila por ter elevada influência na fabricação da poliacrilamida [16]. Para o controle do pH na digestão das lamas é adicionado hidróxido de cálcio. No controle de filamentosas é adicionado hipoclorito de sódio, em que no modelo adaptou-se para a produção de cloro.
- Transporte, combustível e disposição dos resíduos: a distância da produção de químicos até à ETAR (aproximadamente 250 km), bem como, da ETAR ao aterro sanitário (cerca de 70 km) e ao destino das lamas para a agricultura (adotado 25 km) foram inseridos no processo de transporte (capacidade de 3,3 ton. de carga útil). Adotou-se o refinamento do diesel tendo por referência a União Europeia. Os resíduos inorgânicos coletados na fase preliminar, junto com as areias e gorduras, são destinados ao aterro sanitário adotado no modelo com referência também à União Europeia.

#### C. Avaliação do Impacte do ciclo de Vida (AICV)

A elaboração do modelo e a avaliação dos impactes foram gerados na ferramenta computacional *GaBi 6.0*, desenvolvido pela PE INTERNACIONAL, atual Thinkstep [17].

Esta etapa tem como característica analisar os dados por uma perspetiva ambiental, através de categorias de impacte constituídas pela classificação e caracterização do ICV quanto ao potencial impacte no ambiente.

O método *CML 2001* (versão janeiro/2016) desenvolvida na Universidade de Leiden [18] contempla uma ampla lista de categorias, de tal maneira que, para a avaliação deste estudo foi utilizada a categoria *Potencial de Eutrofização (EP)*, motivada pela carga de nutrientes que compõe o efluente urbano e a influência direta que os sistemas de tratamento oferecem para a redução destes. Os autores Hellström *et al.* [19] destacam a eutrofização como um critério ambiental prioritário para avaliar a gestão sustentável das águas urbanas.

O *Potencial de Eutrofização (EP)* abrange os impactes relacionados com os níveis de macronutrientes como o azoto (N) e o fósforo (P) no ambiente [18]. Em meio aquático e terrestre o aumento de nutrientes favorece a multiplicação de microrganismos e elevada produção de biomassa, tal que em meio aquático impede a passagem da luz consequentemente decaindo a quantidade de oxigénio dissolvido pela

decomposição da biomassa (medida em CBO), causando forte impacte na diversidade local [18] [1]. Em solos eutrofizados, há uma maior susceptibilidade das plantas para doenças e pragas, além de que, se o nível de nutrientes exceder a quantidade de azoto necessário para a planta poderá ocorrer enriquecimento de nitrato no solo e, através da lixiviação, aumentar o teor destes nas águas subterrâneas [20].

O Potencial de Eutrofização é avaliado em kg de fosfato-equivalente.

### III. RESULTADOS

A contribuição da categoria de impacte associado à fase de operação do sistema de tratamento das águas residuais, assim como à situação que representa a descarga direta da água residual sem tratamento pode ser visualizado na tabela III, desagregado pelos vários processos que contribuem para viabilizar o tratamento das águas residuais produzidas no ambiente urbano.

O Potencial de Eutrofização está diretamente ligado ao descarte das lamas desidratadas no solo (79,87%) e a composição do efluente a ser descarregado no ambiente (19,42%). Resultados similares foram também obtidos noutros estudos (e.g [13]).

Tabela III. Contribuição da categoria de impacte por unidade funcional

Processos	Pot. de Eutrofização (kg fosfato-equiv.)	
	Com fase operacional	Sem fase operacional
Produção de químicos	7,0E-07	-
Produção de energia	3,3E-05	-
Transporte	Químicos	1,2E-07
	Lamas	2,2E-06
	Resíduos	1,1E-06
Emissões atmosféricas ETAR	1,5E-04	-
Lamas para o solo	0,027	-
Descarga do Efluente	0,0066	0,0702
Aterro Sanitário	5,09E-05	-
<b>Total</b>	<b>0,0342</b>	<b>0,0702</b>

Em relação ao impacte que potencialmente pode advir do uso das lamas em solos agrícolas, o resultado é justificado pelo alto teor de azoto e fósforo presente nas mesmas e não ter sido considerado uma relação como produto evitado a nível de fertilização mineral, como reporta Renou *et al.* [21]. Estes autores referem que, quando as lamas são recicladas em solos agrícolas, os fertilizantes minerais são muitas vezes substituídos pelos benefícios da lama. Contudo, consideram que as lamas não apresentam o mesmo efeito agrícola, devido não serem aplicadas na mesma etapa que o fertilizante mineral. O Pasqualino *et al.* [3] comparam cinco diferentes cenários quanto a alternativas de disposição das lamas, a fim

de verificar a redução quanto ao impacto de eutrofização, em que tais alternativas viabilizam a redução ou impedem a acumulação de nutrientes no solo.

As emissões de gases ocasionadas pelo sistema de tratamento são referidas como a contribuição por emissão para a atmosfera de N<sub>2</sub>O e óxido de azoto previsto nos sistemas biológico e queima do biogás em *flare*, respetivamente. O Potencial de Eutrofização global resulta num valor de a 0,0342 kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> equivalente por metro cúbico de água residual, aproximadamente 49% do que resulta do lançamento do efluente bruto no meio recetor sem qualquer tipo de tratamento (0,0702 kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> por metro cúbico de água residual).

A emissão de quatro substâncias para o ambiente é identificada como as principais responsáveis pelo impacto quanto à descarga do efluente no meio recetor. A Fig. 2 apresenta a contribuição das substâncias presentes na descarga do efluente.

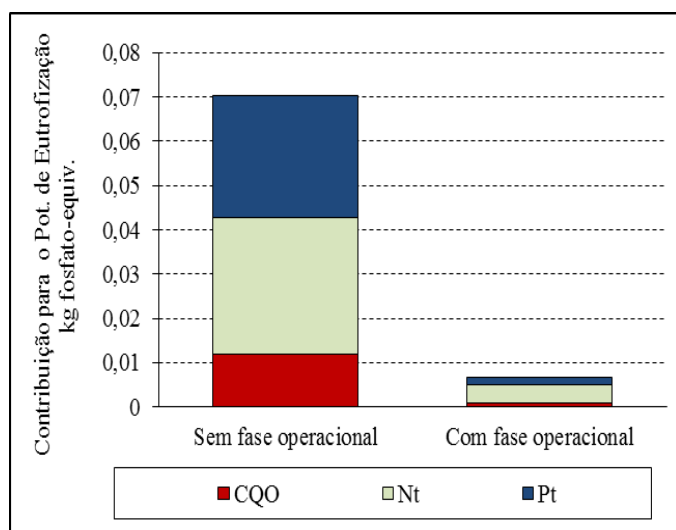


Fig 2. Contribuição da descarga do efluente não tratado e tratado para o potencial de eutrofização, com indicação da contribuição isolada da CQO, Azoto total (Nt) e Fósforo Total (Pt).

As contribuições relativas das descargas de azoto total (Nt), fósforo total (Pt) e a carga orgânica (como compensação química de oxigénio - CQO) são comparadas para o efluente tratado e para o efluente bruto. A contribuição de Nt e Pt, em conjunto, é de aproximadamente 83% para o efluente bruto e de cerca de 86% para o efluente tratado, sendo estas contribuições também maior representativa na avaliação de quatro estações estudadas por Hospido *et al.* [22]. No global, o efluente bruto descarregado diretamente no meio recetor apresenta um Potencial de Eutrofização 90% superior ao que resulta do lançamento do efluente tratado.

#### IV. CONCLUSÃO

Apesar deste estudo se ter centrado apenas num dos indicadores de impacto da ACV, demonstrou parte da

relevância do tratamento de águas residuais face à opção de não tratar. A estrutura da ETAR assim como a gestão eficiente dos recursos, dos processos de tratamento e da gestão de resíduos é também determinante para a melhoria da sustentabilidade ambiental destes sistemas.

Em especial neste estudo, a fronteira do sistema não contemplou as características locais ou regionais do ambiente hídrico recetor da descarga do efluente bruto e tratado, como por exemplo, não se consideraram parâmetros quantitativos do rio nem parâmetros de qualidade do mesmo a montante do ponto de descarga, as condições de diluição das águas, a decomposição aeróbia, entre outros elementos. Quanto às lamias, incluir na fronteira do estudo diferentes processos que visem destinos diferentes torna-se relevante, uma vez que utilização no solo agrícola confere o principal potencial impacto analisado. Integrar estas análises em futuras avaliações pode ser considerado merecedor de atenção ao buscar um resultado ainda mais atraente e satisfatório com a realidade em que esta estação de tratamento está inserida.

Diante das abordagens efetuadas é possível compreender os resultados que apontam para a composição do efluente descarregado no meio recetor e o uso das lamias em solo agrícola, como sendo os processos determinantes do desempenho das ETARs em termos de Potencial de Eutrofização.

Neste sentido, a ACV é oferecida como uma ferramenta atrativa para a sustentabilidade ambiental de sistemas de tratamento de águas residuais, ao identificar os principais impactos ligados aos processos, tornando-a numa metodologia capaz de oferecer orientações à equipa gestora em processos de tomada de decisão conducentes à implementação de novas tecnologias de tratamento de águas residuais e de tratamento e disposição de lamias.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT, Portugal) e a FEDER no âmbito do Programa PT2020 pelo suporte financeiro ao CIMO (UID/AGR/ 00690/2013). Um agradecimento muito especial à empresa Àguas do Norte, s.a. através da coordenadora de exploração e equipa técnica da ETAR de estudo, pela informação primária disponibilizada e por todos os esclarecimentos prestados.

REFERÊNCIAS

- [1] K. Gutierrez, “Análise e Gerenciamento de Impactos Ambientais no Tratamento de Esgoto Doméstico Mediante Avaliação de Ciclo de Vida,” Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.
- [2] A. Hospido, M. T. Moreira, M. Fernández-Couto, and G. Feijoo, “Environmental performance of a municipal wastewater treatment plant,” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 9, no. 4, pp. 261–271, 2004.
- [3] J. C. Pasqualino, M. Meneses, M. Abella, and F. Castells, “LCA as a decision support tool for the environmental improvement of the operation of a municipal wastewater treatment plant,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 43, no. 9, pp. 3300–3307, 2009.
- [4] A.-M. Tillman, M. Svingby, and H. Lundström, “Life cycle assessment of municipal waste water systems,” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 3, no. 3, pp. 145–157, 1998.
- [5] L. Corominas *et al.*, “Life cycle assessment applied to wastewater treatment: State of the art,” *Water Res.*, vol. 47, no. 15, pp. 5480–5492, 2013.
- [6] A. Gallego, A. Hospido, M. T. Moreira, and G. Feijoo, “Environmental performance of wastewater treatment plants for small populations,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 52, no. 6, pp. 931–940, 2008.
- [7] N. Vidal, M. Poch, E. Marti, and I. Rodriguez-Roda, “Evaluation of the environmental implications to include structural changes in a wastewater treatment plant,” *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, vol. 77, no. 11, pp. 1206–1211, 2002.
- [8] J. Foley, D. de Haas, K. Hartley, and P. Lant, “Comprehensive life cycle inventories of alternative wastewater treatment systems,” *Water Res.*, vol. 44, no. 5, pp. 1654–1666, 2010.
- [9] NP EN ISO 14040, *Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Enquadramento (ISO 1440:2006)*, vol. 2006. 2008, pp. 1–29.
- [10] ISO 14044, *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines (ISO 14044:2006)*. 2006, pp. 1–46.
- [11] Ministério do Ambiente, *Decreto Lei n.º 152/97, de 19 de junho*. 1997.
- [12] Ministério do Ambiente, *Decreto Lei n.º 236/98*, vol. 176. 1998, pp. 3676–3722.
- [13] G. Mcnamara *et al.*, “Life Cycle Assessment of Waste Water Treatment Plants in Ireland,” *South East Eur. Conf. Sustain. Dev. Energy, Water Environ. Syst.*, no. May 1991, 2014.
- [14] U.S. Environmental Protection Agency, “Greenhouse Gas Emissions Estimation Methodologies for Biogenic Emissions from Selected Source Categories: Solid Waste Disposal Wastewater Treatment Ethanol Fermentation,” 2010.
- [15] Environment and Climate Change Canada, “Emission Estimation Calculators - Biogas Flaring,” 2009.
- [16] A. Hospido, T. Moreira, M. Martín, M. Rigola, and G. Feijoo, “Environmental evaluation of different treatment processes for sludge from urban wastewater treatments: anaerobic digestion versus thermal processes,” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 10, no. 5, pp. 336–345, 2005.
- [17] “GaBi Software,” 2017. [Online]. Available: <http://www.gabi-software.com/international/software/gabi-software/>.
- [18] J. Guinée, *Handbook on Life Cycle Assessment Operational Guide to the ISO Standards*. 2004.
- [19] D. Hellström, U. Jeppsson, and E. Kärrman, “A framework for systems analysis of sustainable urban water management,” *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 20, no. 3, pp. 311–321, 2000.
- [20] T. Kupfer *et al.*, “GaBi Database & Modelling Principles,” 2017.
- [21] S. Renou, J. S. Thomas, E. Aoustin, and M. N. Pons, “Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA,” *J. Clean. Prod.*, vol. 16, no. 10, pp. 1098–1105, 2008.
- [22] A. Hospido, M. T. Moreira, and G. Feijoo, “A comparison of municipal wastewater treatment plants for big centres of population in Galicia (Spain),” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 13, no. 1, pp. 57–64, 2008.