

A&R ÁGUAS & RESÍDUOS

UMA REVISTA
apesb

Série IV - n.º 4

2019

Análise económica de um sistema de gestão de resíduos urbanos partilhado no estado de Goiás, Brasil

Pág. 05 - 16

Granulação aeróbia sob diferentes velocidades ascensionais tratando esgoto doméstico diluído

Pág. 17 - 24

Estudo de satisfação dos utilizadores dos serviços de águas e resíduos em Portugal continental

Pág. 25 - 36

Projetar para inundações -efeito do perfil, rugosidade e declive das ruas nos critérios de segurança

Pág. 37 - 47



11^{as}

JORNADAS TÉCNICAS INTERNACIONAIS DE RESÍDUOS

11th International Technical Waste Conference



ECONOMIA CIRCULAR: NOVOS MODELOS, NOVOS NEGÓCIOS.



Sessões Plenárias

1. Economia Circular: Novos modelos, novos negócios
2. Licenciamento de Operadores de Gestão de Resíduos
3. Recolha seletiva de bioresíduos
4. Avaliação de modelos para a Tara retornável

Masterclass

Painel Limpeza Urbana

Visitas Técnicas

14 - 18 NOV 2019

Lisboa - Portugal

jornadas-residuos@apesb.org

05 **Análise económica de um sistema de gestão de resíduos urbanos partilhado no estado de Goiás, Brasil**

Diogo Colvero, José Carlos Ramalho, Ana Paula Gomes, Luís António Tarelho, Manuel Arlindo Matos

Realizou-se uma análise económica das receitas e dos custos de um sistema de gestão dos resíduos urbanos partilhado entre 19 municípios do estado de Goiás no Brasil, comparando os custos da compostagem comunitária e da digestão anaeróbia.

17 **Granulação aeróbia sob diferentes velocidades ascensionais tratando esgoto doméstico diluído**

Julliana M. P. de Araújo, Oucilane I. M. Alves, Poliana M. J. Silva, Sávia Gavazza, Mário T. Kato, Lourdinha Florêncio

No estudo apresentado verificou-se que a aplicação de uma menor velocidade ascensional em reatores batch sequenciais favoreceu o desenvolvimento de grânulos aeróbios em menos tempo, com melhor sedimentabilidade e maiores eficiências de remoção de nutrientes.

25 **Estudo de satisfação dos utilizadores dos serviços de águas e resíduos em Portugal continental**

João Rosa, David Alves

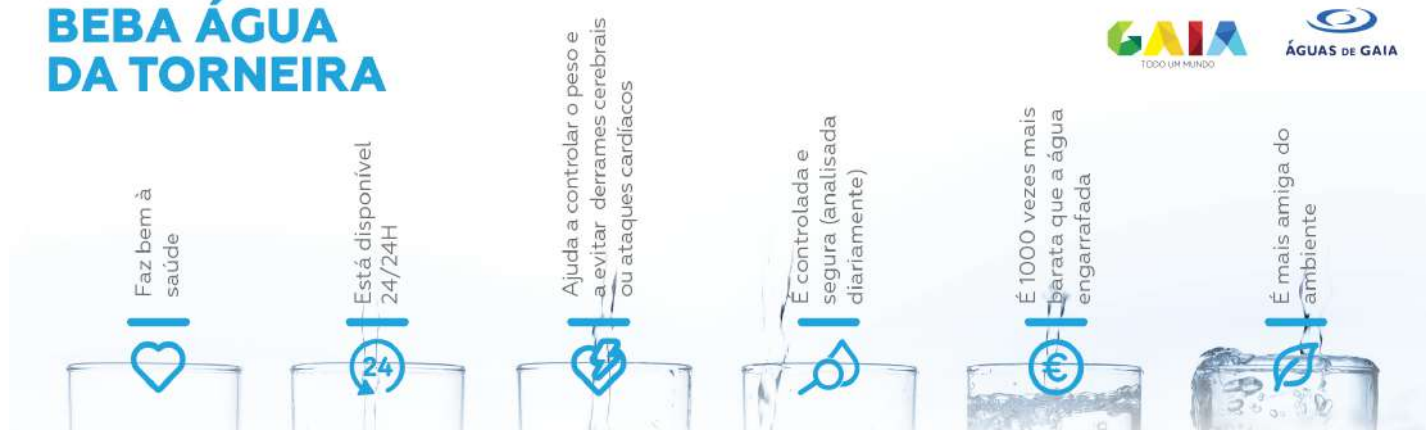
Os resultados deste estudo demonstram um elevado nível de satisfação dos utilizadores finais com os serviços. Ao nível nacional, o abastecimento de água é o serviço que regista maior satisfação. Ao nível regional, a região Norte apresenta os níveis de satisfação mais elevados.

37 **Projetar para inundações - efeito do perfil, rugosidade e declive das ruas nos critérios de segurança**

Luís Mesquita David

Neste artigo faz-se uma revisão dos critérios de segurança mais utilizados, que geralmente limitam a altura de água, a velocidade do escoamento da inundação e relações entre estas variáveis, e avaliam-se os efeitos da forma da secção transversal, da rugosidade e do declive dos arruamentos no cumprimento desses critérios.

BEBA ÁGUA DA TORNEIRA



06 **Economic analysis of a shared municipal solid waste management facility in Goiás state, Brazil**

Diogo Colvero, José Carlos Ramalho, Ana Paula Gomes, Luís António Tarelho, Manuel Arlindo Matos

The costs and revenues of a municipal solid waste management facility shared among 19 municipalities of Goiás state, in Brazil, were studied, comparing the community composting costs and the anaerobic digestion costs.

18 **Aerobic granulation under different airflow velocities treating dilute domestic wastewater**

Julliana M. P. de Araújo, Oucilane I. M. Alves, Poliana M. J. Silva, Sália Gavazza, Mário T. Kato, Lourdinha Florêncio

The study shows that the application of a lower airflow velocity in Sequential Batch Reactors favoured the development of granules in a shorter time, with better settling properties and higher nutrients removal efficiencies.

26 **Consumer satisfaction with the water and waste services in Portugal**

João Rosa, David Alves

The results of this study have shown a high level of consumer satisfaction with these services. At the national level, the water supply is the service with greatest satisfaction levels. At regional level, Norte region consumers are the most satisfied.

38 **Design for floods - effect of the profile, roughness and slope of streets in safety criteria**

Luís Mesquita David

In this paper, flood safety criteria are reviewed, which generally consist of limiting the water height, the flood flow velocity and relationships between these variables. The effects of cross-sectional shape, roughness and slope of the streets in meeting these criteria are also evaluated.



Proteger o ambiente é uma responsabilidade de todos. Água e resíduos podem gerar calor, frio, vapor, energia, bioplásticos, biofertilizantes e biocombustíveis. Na Veolia criamos soluções baseadas num melhor desempenho ambiental e económico, contribuindo para um mundo mais sustentável.



Análise económica de um sistema de gestão de resíduos urbanos partilhado no estado de Goiás, Brasil

Diogo Colvero ^{a,c} *, José Carlos Ramalho ^b, Ana Paula Gomes ^a, Luís António Tarelho ^a, Manuel Arlindo Matos ^a

^a Departamento de Ambiente e Ordenamento e Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM), Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

^b Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

^c Bolsa de doutoramento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, processo n.º 207172/2014-5, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

Resumo

A gestão dos resíduos urbanos (RU) nas regiões metropolitanas é um desafio para os municípios brasileiros. Um exemplo é a região Metropolitana do Estado de Goiás, Brasil, no qual existem 19 municípios que depositam 72,5% do total de RU produzido em lixeiras e aterros não licenciados. Assim, o objetivo deste estudo foi fazer uma análise económica das receitas e custos de um sistema de gestão dos resíduos urbanos (SGRU) partilhado entre os 19 municípios. Este SGRU, projetado para 20 anos, descentralizará as operações de tratamento dos RU (triagem, compostagem e digestão anaeróbia – DA) ao nível dos municípios, centralizando as operações de incineração e aterro. Para o tratamento dos biorresíduos nos municípios de maior porte populacional, foram comparados os custos de duas diferentes tecnologias: compostagem comunitária (CC) e DA. Os resultados apontaram que, para uma taxa interna de retorno (TIR) de 0%, o custo total do SGRU com DA é até 11% mais caro que um SGRU com CC. Sendo que, independentemente do SGRU, os custos de recolha e transporte representam cerca de 60% dos custos totais. Para 2040, último ano da vida útil do SGRU, as tarifas pagas pela população irão variar entre 3,5 e 10,8 R\$/habitante⁻¹·mês⁻¹.

Palavras-Chave: gestão partilhada de RU, análise económica, tarifas, compostagem comunitária, digestão anaeróbia.

doi: 10.22181/aer.2019.0401

* Autor para correspondência

E-mail: diogocolvero@yahoo.com.br (Diogo Colvero)

Economic analysis of a shared municipal solid waste management facility in Goiás state, Brazil

Diogo Colvero^{a,c*}, *José Carlos Ramalho*^b, *Ana Paula Gomes*^a, *Luís António Tarelho*^a, *Manuel Arlindo Matos*^a

^a Departamento de Ambiente e Ordenamento e Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM), Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

^b Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

^c Bolsa de doutoramento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, processo n.º 207172/2014-5, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

Abstract

Municipal solid waste (MSW) management in metropolitan regions is a challenge for municipalities. An example is the Metropolitan region of Goiás, Brazil, in which there are 19 municipalities that dispose 72.5% of the total MSW produced in dumps and unlicensed landfills. Thus, the objective of this study was to analyse costs and revenues of a municipal solid waste management facility (MSWMF) shared among these 19 municipalities. This MSWMF, designed for 20 years, intends to decentralise MSW processing operations – namely recyclable materials recovery, (home or community) composting and anaerobic digestion (AD) – at municipality level, only centring incineration and landfilling operations. For biowaste treatment in municipalities with larger populations, two different treatment technologies were compared: community composting (CC) and AD. Results showed that, for an internal rate of return (IRR) of 0% the MSWMF with AD is 11% more expensive (in total) than with CC. Whereby, regardless of the MSWMF, MSW collection and transport, represent around 60% of the operation costs of MSW management. For 2040 (last year of the MSWMF), the tariffs paid by population will vary between 3.5 and 10.8 R\$·inhabitant⁻¹·month⁻¹.

Keywords: shared MSW management, economic analysis, pickers, community composting, anaerobic digestion.

doi: 10.22181/aer.2019.0401

* *Corresponding author*

E-mail: diogocolvero@yahoo.com.br (Diogo Colvero)

1 Introdução

Existem países em desenvolvimento com grandes quantitativos populacionais, densas áreas urbanas e gestão deficitária dos resíduos urbanos – RU (Bernstad Saraiva et al. 2017). Um exemplo ocorre numa região de Goiás, Estado situado no Centro-Oeste do Brasil, onde há 19 municípios que em 2015 possuíam 2,3 milhões de habitantes, uma densidade populacional de 363,7 habitantes·km⁻² e produziram mais de 2,1 mil toneladas·dia⁻¹ de RU (Colvero et al. 2017, IBGE 2016, SIEG 2015).

Verifica-se nestes municípios que as práticas de gestão dos RU baseadas na prevenção e na economia circular ainda são incipientes (Colvero et al. 2017). Consequentemente, os RU encontram-se misturados e são depositados em lixeiras ou aterros – maioritariamente sem licença para operação (Abreu et al. 2016), desobedecendo à Lei n.º 12 305/2010, que determinou que até agosto de 2014 os municípios brasileiros deveriam eliminar os sistemas inadequados de deposição final de RU (Brasil 2010).

Portanto, o objetivo deste estudo foi realizar uma análise económica das receitas e dos custos de investimento e operação de um sistema de gestão dos resíduos urbanos (SGRU) partilhado entre 19 municípios de uma região metropolitana do Estado de Goiás. Este trabalho pretende suportar os gestores públicos goianos na tomada de decisões para o desenvolvimento de um plano estratégico que altere o cenário atual da gestão de RU nesta região.

2 Metodologia

2.1 Modelo de gestão e o município-sede do SGRU partilhado proposto

A partir do quantitativo populacional e da produção de resíduos (Colvero et al. 2017, IBGE 2016), definiu-se que o SGRU proposto será composto por um arranjo institucional baseado no estabelecido por BNDES (2014): recolha indiferenciada, recolha diferenciada de materiais recicláveis secos, recolha diferenciada de biorresíduos, estação de transferência (ET), transporte, central de triagem, compostagem doméstica (CD), compostagem comunitária (CC) ou digestão anaeróbia (DA), incineração e aterro. Este modelo de sistema visa atender a Lei n.º 12 305/2010, que define que os SGRU devem obedecer à hierarquia das operações de gestão dos resíduos (Brasil 2010).

Para a gestão dos biorresíduos produzidos nos municípios, foram definidas três alternativas de tratamento, conforme Tsilemou e Panagiotakopoulos (2006): CD para 13 dos 19 municípios (com produção <2 000 t·ano⁻¹ de biorresíduos), CC ou DA, para os restantes 6 municípios (com produção >2 000 t·ano⁻¹ de biorresíduos). Além disso, tal como Matos et al. (2012), neste estudo descentralizou-se até ao nível dos municípios a triagem, compostagem e DA, apenas centralizando a incineração e o aterro. De modo que, para definir o município-sede (MS) para o sistema de incineração do SGRU proposto e a localização das ET partilhadas, utilizou-se a metodologia da geometria das massas (Pereira et al. 2013, Russo 2003). Por questões de economia com o transporte (USEPA 2002), os municípios cujos centros urbanos estiverem a mais de 25 km do incinerador enviarão os RU para uma ET (FEAM 2010).

Para a localização do aterro, de acordo o estudo de Gorsevski et al. (2012), foi feita a identificação de uma área não-restrita utilizando-se o sistema de informações geográficas (SIG), com base em cinco documentos legais do Brasil elaborados por ABNT, (1997), Brasil, (2012), CONAMA (2010), MMA (2015) e SEMARH/GO (2014) que estabelecem distâncias mínimas de aterros para: aeródromos, cursos de água, comunidades remanescentes, áreas de proteção ambiental, ocupação do solo e declividade do terreno.

2.2 As metas de desvios de aterro e os cenários propostos

Com a produção de RU (Colvero et al. 2017) e as metas de desvios de recicláveis e biorresíduos dos aterros definidas pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), definiram-se três cenários futuros distintos (chamados de pessimista, moderado e otimista), que foram projetados para um horizonte de 20 anos (2021-2040), conforme MMA (2012). Para cada cenário foram consideradas as seguintes metas de desvios: para o cenário pessimista, as metas de desvios de RU de aterros do PLANARES previstas para 2015 e 2027, respectivamente, serão atingidas em 2023 e 2031; no cenário moderado, as metas de desvio de RU de aterro do PLANARES previstas para 2019 e um valor intermédio entre 2027 e 2031 serão alcançadas, respectivamente, em 2023 e 2031; no cenário otimista, considerou-se que as metas de desvios de RU previstas para 2023 e 2031 serão atingidas nestes mesmos anos, ou seja, os SGRU estarão a operar a pleno e alcançarão as metas estabelecidas pelo PLANARES (MMA 2012). Enquanto que no cenário pessimista se considerou uma situação em que as dificuldades de implantação de um novo SGRU acaba por tornar o desvio de RU mais lento, em um cenário otimista, o SGRU estará a operar a pleno, de modo a se alcançar efetivamente as metas de desvios de RU definidas no PLANARES.

2.3 Custos do SGRU proposto

Os custos totais do SGRU proposto dividem-se em custos de investimento, que serão da responsabilidade do Governo do Estado de Goiás (NURSOL/UFG 2015), e em custos de operação e manutenção, que serão pagos pela população através da cobrança de tarifas (Oliveira 2010). Estabeleceu-se que os beneficiários do Programa Bolsa Família, que abrange a população carenciada no Brasil, estarão isentos do pagamento da tarifa de gestão de RU. A percentagem de cidadãos isentos do pagamento da tarifa de gestão dos RU (constante nos 20 anos do projeto) foi calculada a partir dos dados do IBGE (2016) e MDS (2015). Os custos (obtidos em reais (R\$), moeda corrente do Brasil) do SGRU foram estimados a partir dos valores apresentados no Quadro 1. Todos os valores obtidos forma extrapolados para 2020.

Quadro 1. Valores e funções de custos unitários aproximados para instalações de tratamento e disposição final de RU

Tipo de serviço	Investimento (R\$·t ⁻¹)	Operação (R\$·t ⁻¹)
Recolha de RU Reichert (2013):		
Recolha indiferenciada (resíduos mistos)		131,39
Recolha diferenciada de biorresíduos		247,47
Recolha diferenciada de resíduos recicláveis secos		269,25
Triagem materiais de recicláveis BNDES (2014):		
<10 mil habitantes	47,39	689,30
>10 mil a 30 mil habitantes	23,69	653,39
>30 mil a 250 mil habitantes	25,85	710,84
>250 mil a 1 milhão habitantes	16,51	172,32
>1 milhão habitantes	10,05	100,52
Estação de transferência Pereira et al. (2013)	6,10	28,98
Compostagem doméstica EC (2000)	238,14*	1,02*
Tecnologias de tratamento e deposição final de RU (Tsilemou e Panagiotakopoulos 2006):		
Compostagem ao ar livre	$y = 4\,000 \cdot x^{0,7}$	$y = 7\,000 \cdot x^{-0,6}$
Digestão anaeróbia	$y = 35\,000 \cdot x^{0,6}$	$y = 17\,000 \cdot x^{-0,6}$
Incineração	$y = 5\,000 \cdot x^{0,8}$	$y = 700 \cdot x^{-0,3}$
Aterro de grande porte	$y = 3\,500 \cdot x^{0,7}$	$y = 150 \cdot x^{-0,3}$
Em que: x é o quantitativo de resíduos a ser tratado e y é o custo por tonelada.		

*O custo unitário da compostagem doméstica é em R\$·domicílio⁻¹.

Para analisar a viabilidade económica do projeto, calcularam-se parâmetros como: o Valor Atual Líquido (VAL), que é o valor presente de uma série de receitas futuras, das quais se deve subtrair o investimento inicial (Sanches et al. 2013); a Taxa Interna de Retorno (TIR), que é uma medida de viabilidade que iguala o VAL a zero, indicando ser o projeto deve ou não ser rejeitado (Martins et al. 2016); e o Retorno do Capital (RC), que é o período (em anos) necessário para que o capital investido no projeto seja recuperado (Sanches et al. 2013).

2.4 Receitas do SGRU proposto

Para determinar a energia elétrica produzida com a incineração, foi necessário conhecer a composição dos RU (Colvero et al. 2016) e chegar ao poder calorífico inferior (Matos e Pereira 2005). Desse modo, foi possível estimar as receitas com a venda da energia elétrica.

Para obter as receitas com a venda de materiais recicláveis, usaram-se os dados de BNDES (2014), conforme Quadro 2. Quanto à energia produzida na DA e na incineração, utilizaram-se às expressões matemáticas de Fernández-González et al. (2017) para estimativa do quantitativo energético. Com estes dados e com os preços unitários da energia (Quadro 2) calcularam-se as receitas com a venda de energia elétrica oriunda da DA e da incineração.

Quadro 2. Preço médio de venda dos materiais recicláveis e energia elétrica proveniente da DA e da incineração (valores já extrapolados para 2020)

	Preço médio de venda (R\$)
Material reciclável (BNDES, 2014)*:	
Papel/cartão	272,85
Plástico	592,97
Metal ferroso	258,49
Metal não ferroso	3 471,61
Energia produzida pela Digestão anaeróbia (ANEEL 2018)**	319,48
Energia produzida pela Incineração (ABRELPE 2013)**	267,92

**Preço por tonelada; ** Preço por MWh.

Conforme estabelecido na Lei n.º 12 305 (Brasil, 2010) e os dados de Colvero et al. (2016), estimou-se ainda o número de catadores que atuarão nas centrais de triagem dos municípios.

3 Resultados e discussão

Para Pereira et al. (2013), a identificação do centro de massa (obtido a partir da geometria das massas) entre os municípios que integrarão um SGRU permitirá que seja otimizado o local para instalação das tecnologias de tratamento de RU, diminuindo assim os custos com o transporte destes resíduos. O sistema de incineração proposto situar-se-á dentro de um polo industrial, no município de Aparecida de Goiânia. Já o aterro (na área não restrita para a instalação de um aterro (Colvero et al. 2018) o mais próximo da incineração) situa se no município de Hidrolândia, junto à rodovia asfaltada BR-153 e a 29,3 km da incineração (Figura 1). Além disso, o SGRU terá 9 ET partilhadas, que atenderão a 17 municípios.

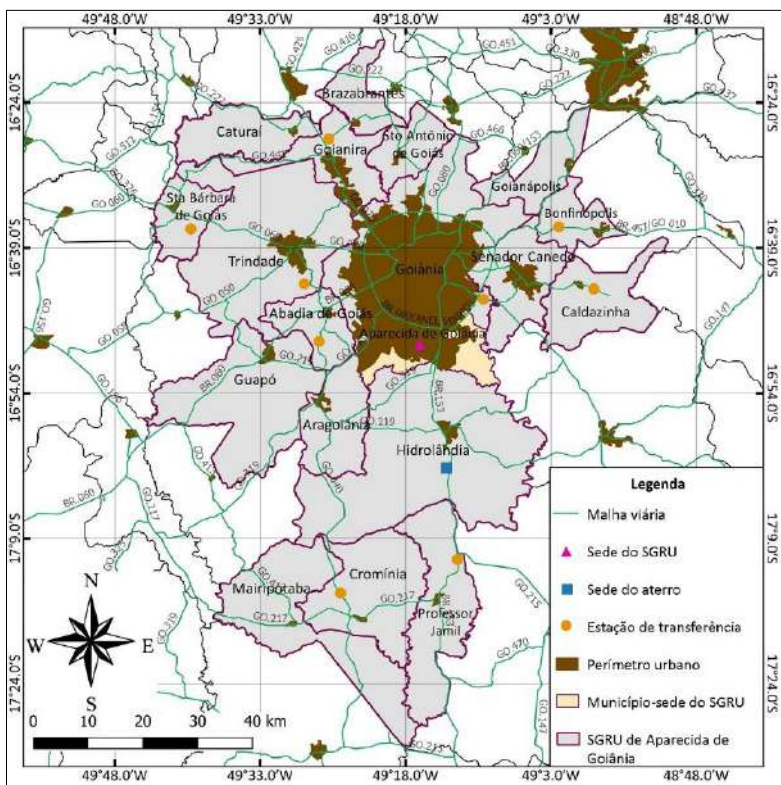


Figura 1. Sistema de gestão de resíduos urbanos proposto para municípios da microrregião Metropolitana de Goiânia e municípios de microrregiões vizinhas, Estado de Goiás

Para o *cenário otimista* (cenário em que as metas do PLANARES são cumpridas na totalidade), de 2021 a 2040, o PCI útil dos RU enviados à incineração varia entre 9,76 e 11,11 MJ·kg⁻¹ (consoante aos desvios de RU). A incineração irá gerar 434 526 MW·h de energia elétrica, suficiente para 210 628 domicílios.

Quanto às receitas e custos dos três cenários avaliados no SGRU proposto, os resultados para um projeto sem fins lucrativos (TIR=0%) estão apresentados no Quadro 3. Quanto aos custos totais do projeto, o cenário otimista do SGRU com DA, é o mais oneroso, custando R\$ 8 951 milhões ao longo dos 20 anos de projeto, 11% mais caro que o cenário otimista com CC, que custará R\$ 8 046 milhões (valores já extrapolados para 2020). Entretanto, nos cenários com DA, haverá ganhos na ordem dos 12% aos 15% superiores aos mesmos cenários para o SGRU com CC, devido ao biogás produzido na DA que será comercializado.

Quadro 3. Estimativa das receitas e dos custos do SGRU proposto ao longo dos 20 anos de projeto, para os cenários pessimista, moderado e otimista – TIR 0% (extrapolados para 2020)

TIR 0%	Cenário pessimista		Cenário moderado		Cenário otimista	
	Compostagem comunitária	Digestão anaeróbia	Compostagem comunitária	Digestão anaeróbia	Compostagem comunitária	Digestão anaeróbia
	Milhões-R\$	Milhões-R\$	Milhões-R\$	Milhões-R\$	Milhões-R\$	Milhões-R\$
Receitas:						
Vendas	4 222,82	4 737,00	4 184,33	4 760,86	4 142,79	4 781,67
Tarifa RU	4 045,04	4 411,83	4 131,79	4 491,13	4 222,17	4 568,60
Custos:						
Operação	6 030,56	6 435,55	6 120,73	6 549,90	6 214,31	6 664,38
Investimento	1 906,30	2 310,91	1 870,48	2 301,11	1 832,18	2 287,54
VAL	≅ 0	≅ 0	≅ 0	≅ 0	≅ 0	≅ 0

Comparando-se as tarifas que serão pagas pela população de cada município, para sistemas com CC e com DA, os valores encontrados variam entre 3,5 e 7,0 R\$·mês⁻¹ no ano de 2021 e entre 3,5 e 10,8 R\$·mês⁻¹ para o ano de 2040 (Figura 2).

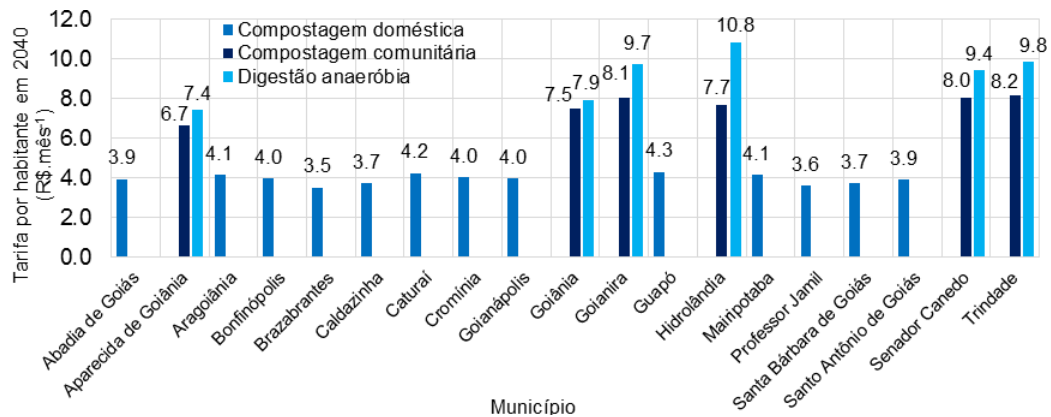


Figura 2. Custos mensais por habitante por domicílio no ano de 2040 para cada um dos 19 municípios – cenário otimista (TIR 0%)

Já para uma TIR de 8%, para atrair capital e garantir rentabilidade aos investidores (Castro 2017), estima-se que o RC se dê aos 10 anos e 2 meses e que o VAL varie de 2 000 milhões de R\$ (cenários com o SGRU com CC) a 2 560 milhões de R\$ (cenários com o SGRU com DA), ao longo dos 20 anos de projeto. Os custos mensais por habitante do tarifário iriam variar de 6,0 R\$·mês⁻¹ a 17,4 R\$·mês⁻¹, sendo que aumentarão entre 55% a 72% em comparação com a TIR de 0%, como apresentado na Figura 3. Como estas tarifas mais elevadas são para os casos em que o SGRU contempla municípios com DA, a alternativa para atrair investidores (TIR de 8%), sem sobrecarregar o cidadão, pode ser implantar SGRU com CC. Neste caso, as tarifas máximas mensais não passariam de cerca de R\$·12,7·habitante⁻¹·mês⁻¹ para os municípios com maiores tarifas, o que é inferior a R\$·13,0·habitante⁻¹·mês⁻¹, valor médio cobrado dos cidadãos atendidos pelos dois SGRU com incineração existentes em Portugal Continental.

Estimou-se também que, para o cenário otimista (por exemplo), serão necessários entre 2 530 e 4 505 catadores necessários para trabalhar nos centros de triagem dos 19 municípios entre 2021 e 2040.

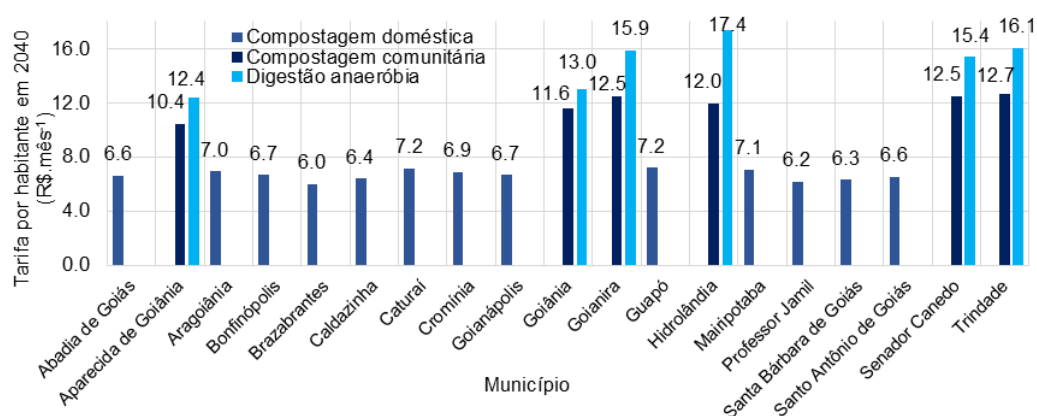


Figura 3. Custos mensais por habitante por domicílio no ano de 2040 para cada um dos 19 municípios – cenário otimista (TIR 8%)

Devido às incertezas em relação aos custos e receitas, assim como imprevistos durante a implantação e operação do SGRU proposto (que podem afetar a saúde financeira do projeto), decidiu-se por fazer uma análise de sensibilidade considerando-se um acréscimo de 10% nos custos de investimento e operação do projeto para uma TIR de 0%, em que não há uma reserva financeira. Os resultados apontaram que este acréscimo nos custos, em comparação com a TIR de 0% (sem quaisquer acréscimos), elevaria em média, cerca de 20% no tarifário da população.

Por fim, fez-se uma regressão linear com a *correlação de Pearson* (r) para verificar se há correspondência entre a *geração per capita de RU* e o *consumo per capita de água* ou *consumo per capita de energia elétrica*. Os resultados indicaram uma correlação negativa moderada entre a *geração per capita de RU* e o *consumo médio per capita de água* e que esta é não-significativa em relação à primeira variável. Já para o a correlação entre a *geração per capita de RU* e o *consumo per capita de energia elétrica* obteve-se um de r de 0,78617, ou seja, há correlação positiva muito forte entre as variáveis. Além disso, obteve-se um *valor-p* igual a 0,0001, o que indica que a variável *consumo per capita de energia elétrica* é significativa em relação à *geração per capita de RU*. Contudo, apesar de haver uma correlação muito forte entre as variáveis, isso não traduz uma relação de causalidade entre estas variáveis. De qualquer modo, a partir dos valores de r , a sugestão é que a cobrança da parte variável da tarifa de gestão dos resíduos seja feita vinculada à tarifa de energia elétrica.

4 Considerações finais

A partir das metodologias da geometria das massas e da identificação das áreas não restritas para a instalação de sistemas de deposição final de RU, definiu-se que o SGRU terá um sistema de incineração em Aparecida de Goiânia e um aterro no município vizinho, Hidrolândia.

Quanto aos custos totais do projeto, o cenário otimista com o SGRU com DA, custará R\$ 8 951 milhões ao longo dos 20 anos de projeto, cerca de 11% mais oneroso que a CC no mesmo cenário.

Referente às receitas do projeto, nos cenários com DA, os ganhos são até 15% superiores aos mesmos cenários em que o SGRU possui CC. Mesmo sem fins lucrativos (TIR de 0%), o projeto paga-se dentro dos 20 anos e os tarifários à população dos municípios pela gestão dos RU irão variar entre 3,5 e 10,8 R\$.mês⁻¹, no cenário otimista em 2040. Para uma TIR de 8%, onde há fins lucrativos no projeto, as tarifas irão variar de 6,0 R\$.mês⁻¹ a 17,4 R\$.mês⁻¹.

Apesar de não ter sido avaliado neste estudo, pode-se ainda implementar um SGRU que contemple, simultaneamente, CC para os municípios em que, devido ao baixo quantitativo de biorresíduos, a DA torne a tarifa de RU alta para os utentes (exemplo de Hidrolândia e Goianira), e DA para os municípios onde esta tecnologia compense (como Goiânia e Aparecida de Goiás).

Em relação à forma de cobrança da fração variável da tarifa de RU, identificou-se uma correlação positiva muito forte entre a geração per capita de RU e o consumo médio per capita de energia elétrica, ou seja, caso o SGRU deseje vincular a tarifa de RU a uma fatura já existente, fazê-la à fatura de energia elétrica parece ser a melhor alternativa.

Finalmente, este estudo pode servir de modelo para que outros municípios brasileiros e do mundo que tenham uma gestão ineficiente dos RU, pois poderá auxiliar os decisores públicos a estabelecerem uma estratégia para a gestão dos seus RU.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil. O 1º autor, Diogo Colvero, é investigador do CNPq, Processo n.º 207172/2014-5.

Referências

- ABNT (1997). *NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABRELPE (2013). *Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos*. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.
- Abreu A.E.S., Gandolfo O.C.B., Vilar O.M. (2016). Characterizing a Brazilian sanitary landfill using geophysical seismic techniques. *Waste Management* 53, 116–127. doi: 10.1016/j.wasman.2016.03.048
- ANEEL (2018) *CEL: Resultados leilões 2005 a 2017*. Agência Nacional de Energia Elétrica. <http://www.aneel.gov.br/> (acedido a 3.15.18).
- Bernstad Saraiva A., Souza R.G., Valle R.A.B. (2017). Comparative lifecycle assessment of alternatives for waste management in Rio de Janeiro – Investigating the influence of an attributional or consequential approach. *Waste Management* 68, 701-710 doi: 10.1016/j.wasman.2017.07.002
- BNDES (2014). *Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil*, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social Europa, Estados Unidos e Japão. Jaboatão dos Guararapes.
- Brasil (2012). *Lei no 12.725, de 16 de outubro*. Dispõe sobre o controle da fauna nas imediações de aeródromos, Brasília, DF, Brasil.
- Brasil (2010). *Lei 12.305, de 2 de agosto*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências, Brasília, DF, Brasil.
- Castro J.V. (2017). *Viabilidade de um Investimento na Fileira do Pinheiro Manso* (Pinus pinea L.). Instituto Politécnico de Coimbra.
- Colvero D.A., Gomes A.P.D., Tarelho L.A.C. Matos, M.A.A. (2017). Municipal solid waste in Goiás (Brazil): current scenario and projections for the future. *J. Sediment. Environ.* 2, 236–249. doi: 10.12957/jse.2017. 31131
- Colvero D.A., Gomes A.P.D. Tarelho L.A.C., Matos M.A.A., Santos K.A. (2018). Use of a geographic information system to find areas for locating of municipal solid waste management facilities. *Waste Management* 77, 500-515. doi: 10.1016/j.wasman.2018.04.036
- Colvero D.A., Pfeiffer S.C., Carvalho E.H. (2016). Materiais recicláveis provindos dos resíduos urbanos: caso de estudo para o estado de Goiás, Brasil, in: Ramísio, P.J., Lopes, G.A., Pinto, L.M.C., Leite, F., Rosa, M.J. (Eds.), *A Engenharia Sanitária Nas Cidades Do Futuro: Livro de Comunicações do 17º Encontro de Engenharia Sanitária E Ambiental/ENASB*. Lisboa, pp. 713–720.
- CONAMA (2010). *Resolução CONAMA no 428/2010*, de 17 de dezembro. Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC). Conselho Nacional do Meio Ambiente.
- EC (2000). *Exemplos de compostagem e de recolhas selectivas bem sucedidas*. European Commission, Bruxelles.

- FEAM (2010). *Estudo do estado da arte e análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica no estado de Minas Gerais - Relatório 1*. Fundação Estadual do Meio Ambiente, Engenheiro, Belo Horizonte, MG, Brasil.
- Fernández-González J.M., Grindlay A.L., Serrano-Bernardo F., Rodríguez-Rojas M.I., Zamorano, M. (2017). Economic and environmental review of Waste-to-Energy systems for municipal solid waste management in medium and small municipalities. *Waste Manag.* 67, 360–374. doi: 10.1016/j.wasman.2017.05.003
- Gorsevski P. V., Donevska K.R., Mitrovski C.D., Frizado J.P. (2012). Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: A case study using ordered weighted average. *Waste Manag.* 32, 287–296. doi: 10.1016/j.wasman.2011.09.023
- IBGE (2016). *Cidades@Goiás*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <http://cod.ibge.gov.br/1V4> (acessado a 5.4.16).
- Martins L.O.S., Silva L.T., Carneiro R.A.F., Velame J.L. (2016). Análise da viabilidade econômica e financeira da implantação de usina de geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos no município de Santo Antônio de Jesus – BA. *Rev. Livre Sustentabilidade e Empreendedorismo* 1, 152–176.
- Matos M.A.A., Pereira F.J.M.A. (2005). *Tratamento e eliminação termoquímica de resíduos*. Aveiro, Portugal.
- Matos M.A., Gomes A.P., Tarelho L.A., Nunes M.I., Teixeira C.A., Fonseca A.S. (2012). Urban waste management recyclables model based on carbon footprint, in: 1st *International AFRICA Sustainable Waste Management Conference*. Lobito, Angola, pp. 1–10.
- MDS (2015). *Bolsa Família - Pagamento por Município em Outubro/2015*. Ministério do Desenvolvimento Social, Brasília, DF, Brasil.
- MMA (2015). *Portaria Interministerial no 60, de 24 de março*. Estabelece procedimentos administrativos em processos de licenciamento ambiental de competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Ministério do Meio Ambiente.
- MMA (2012). *Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PLANARES*. Ministério do Meio Ambiente, Brasil.
- NURSOL/UFG (2015). *Plano de resíduos sólidos do estado de Goiás - Produto final* (Produto 10). Núcleo de Resíduos Sólidos e Líquidos da Universidade Federal de Goiás, Goiânia/GO.
- Oliveira R.C.R. (2010). Os serviços públicos e o código de defesa do consumidor (CDC): limites e possibilidades. *Rev. Eletrônica Direito Adm.* - REDAE 22.
- Pereira C.D., Franco D., Castilhos Jr. A.B. (2013). Implantação de Estação de Transferência de Resíduos Sólidos Urbanos utilizando Tecnologia SIG. *Rev. Bras. Ciências Ambient.* 27, 71–84.
- Reichert G.A. (2013). *Apoio à tomada de decisão por meio da avaliação do ciclo de vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: o caso de Porto Alegre* (Doctoral dissertation). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Russo M.A.T. (2003). *Tratamento de resíduos sólidos*. Universidade de Coimbra.
- Sanches E.G., Tosta G.A.M., Souza-Filho J.J. (2013). Viabilidade econômica da produção de formas jovens de *Bijupirá* (*Rachycentron canadum*). *Bol. do Inst. Pesca* 39, 15–26.
- SEMARH/GO (2014). *Resolução no 005/2014 – CEMAm, de 26 de fevereiro*. Dispõe sobre os procedimentos de licenciamento ambiental dos projetos de disposição final dos resíduos

sólidos urbanos, na modalidade aterro sanitário, nos municípios do Estado de Goiás. Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás, Goiânia/GO.

SIEG (2015). *SIG – Shapefiles*. Sistema Estadual de Geo Informação.

Tsilemou K., Panagiotakopoulos D. (2006). Approximate cost functions for solid waste treatment facilities. *Waste Manag. Res.* 24, 310–322. doi: 10.1177/0734242X06066343

USEPA (2002). *Waste Transfer Stations: a manual for decision-making*. United States Environmental Protection Agency, Washington.



INDAQUA
Part of  Miya Group

OFERTA DE SERVIÇOS

CONCESSÕES DE ÁGUA E SANEAMENTO
Soluções integradas de longo prazo, de gestão, operação e manutenção de sistemas municipais

CONTRATOS BASEADOS EM PERFORMANCE
Projetos de eficiência hídrica
Gestão de contadores
Projetos de aflúncias indevidas

CONTRATOS PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS
Estudos, conceção e gestão de projetos
Assistência técnica
i2Water solutions
O&M de sistemas de água e saneamento

Há 25 anos a garantir água, a proteger o ambiente e a defender o futuro.

Fonte de Água, Fonte de Eficiência.



NOVA CENTRAL DE TRIAGEM DE EMBALAGENS DE TRAJOUCE

A TRABALHAR PARA A ECONOMIA CIRCULAR

- + Eco-eficiência
- + Matérias-primas secundárias
- Pegada carbónica

tratolixo
gestão de resíduos urbanos
www.tratolixo.pt

Cofinanciada por:

POSEUR  **PORTUGAL 2020**   **UNIÃO EUROPEIA**
Fundo de Coesão



Um líder com visão global

Com 70 anos de história, a EGF conta com um percurso empresarial de excelência e hoje é uma empresa europeia de referência do setor ambiental e líder no tratamento e valorização de resíduos em Portugal.

A EGF trata 3,2 Milhões de toneladas de resíduos urbanos por ano, produzidos por 6,3 Milhões de pessoas em 174 municípios. Com a EGF é possível garantir a valorização de resíduos da forma mais sustentável nas suas diversas áreas de atuação, assegurando padrões ambientais exigentes, práticas sociais exemplares e a criação de valor, posicionando a empresa como um farol de inovação e referência ambiental.



EGF - Valorizamos o Ambiente


6,3 Milhões
Habitantes servidos


3,2 Milhões
Toneladas de resíduos tratados


546 GWh/ano
Energia produzida


281.000 t
Resíduos reciclados


35.000 t
Corretivos orgânicos produzidos

www.egf.pt

Granulação aeróbia sob diferentes velocidades ascensionais tratando esgoto doméstico diluído

Julliana M. P. de Araújo ^{a*}, Oucilane I. M. Alves ^b, Poliana M. J. Silva ^b, Sávia Gavazza ^b, Mário T. Kato ^b, Lourdinha Florêncio ^b

^a Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano – Campus Ouricuri, Estrada do Tamboria, s/n, Zona Rural, Ouricuri, Brasil

^b Universidade Federal de Pernambuco, Avenida da Arquitetura, s/n, Cidade Universitária, Recife, Brasil

Resumo

A tecnologia de granulação aeróbia vem sendo desenvolvida como alternativa ao sistema convencional de lodos ativados. A agregação da biomassa granular possibilita a existência de microambientes que proporcionam a remoção simultânea de matéria orgânica e nutrientes. Entretanto, a maioria dos estudos são realizados em escala laboratorial e com efluente sintético. Visando elucidar alguns fatores interferentes na formação dos grânulos e sua aplicabilidade em escalas reais, este trabalho buscou estudar a influência de diferentes velocidades ascensionais em Reatores em Bateladas Sequenciais (RBS) para o desenvolvimento de grânulos aeróbios no tratamento de esgoto doméstico diluído. Sendo assim, para a realização desse estudo foram utilizados dois RBS em escala piloto, alimentados com esgoto real e sem inóculo. O ciclo operacional aplicado foi de 3 h e troca volumétrica de 71%. Para os RBS I e II foram aplicadas as velocidades ascensionais de $1,3 \text{ cm.s}^{-1}$ e $0,88 \text{ cm.s}^{-1}$, respectivamente. Como resultados, grânulos foram obtidos as 91 e 78 dias, para o RBS I e II, respectivamente e verificou-se que a aplicação de uma menor velocidade ascensional favoreceu o desenvolvimento de grânulos em menor tempo, com melhor sedimentabilidade e maiores eficiências de remoção de nutrientes.

Palavras-Chave: velocidade ascensional, lodo granular aeróbio, escala piloto, SBR, esgoto doméstico.

doi: 10.22181/aer.2019.0402

* Autor para correspondência
E-mail: jullianameloaraujo@gmail.com (Julliana Araújo)

Aerobic granulation under different airflow velocities treating dilute domestic wastewater

Julliana M. P. de Araújo ^{a*}, Oucilane I. M. Alves ^b, Poliana M. J. Silva ^b,
Sávia Gavazza ^b, Mário T. Kato ^b, Lourdinha Florêncio ^b

^a Federal University of Pernambuco, Arquitetura Avenue, s/n, Recife, Brazil

^b Federal Institute of Education, Science and Technology of the Sertão Pernambucano, Tamboril Road, s/n, Ouricuri, Brazil

Abstract

Aerobic granulation technology has been developed as an alternative to the conventional activated sludge system. The aggregation of granular sludge enables the existence of microenvironments that provide the simultaneous removal of organic matter and nutrients. However, most of studies are conducted in laboratory scale and with synthetic effluent. Aiming to elucidate some interfering factors in the formation of granules and its applicability in real scales, this work sought to study the influence of different airflow velocities in Sequential Batch Reactors (SBRs) for the development of aerobic granules in the treatment of dilute domestic wastewater. Thereunto, two pilot scale SBRs were used in this study. They were fed with real wastewater and no seed sludge was used. The operational cycle was 3 h and the volumetric change of 71%. Airflow velocities of 1.3 cm.s⁻¹ and 0.88 cm.s⁻¹ were applied for the SBR I and II, respectively. As results, granules were obtained at 91 and 78 days for SBR I and II and it was verified that the application of a lower airflow velocity favoured the development of granules in a shorter time, with better settling properties and higher nutrients removal efficiencies.

Keywords: airflow velocity, aerobic granular sludge, pilot scale, SRB, domestic wastewater.

doi: 10.22181/aer.2019.0402

* *Corresponding author*
E-mail: jullianameloaraujo@gmail.com (Julliana Araújo)

8 estações de bombeamento e 1 estação de tratamento de esgoto com a tecnologia de LGA Nereda[®], patenteada pela empresa holandesa Royal Haskoning DHV (2018). Ressalta-se, então, a importância de estudos que auxiliem na determinação de condições operacionais específicas associadas às características observadas nos efluentes brasileiros (como elevadas temperaturas e baixa concentração de matéria orgânica, quando comparados aos efluentes europeus) para otimização dos processos.

De modo geral, a maioria dos estudos acerca de granulação aeróbia utiliza escala laboratorial e efluentes sintéticos com alta carga orgânica devido à grande instabilidade dos grânulos quando aplicados ao tratamento de esgotos domésticos, especialmente de baixa carga. Tal fato se dá devido à instabilidade dos grânulos, a qual é reportada na literatura como um dos maiores problemas que impedem a sua aplicação em escala piloto (Lee et al., 2010). Show et al. (2012) afirmam que um melhor entendimento da formação e das características dos grânulos aeróbios possibilitará definição de condições operacionais ótimas que garantam melhor estabilidade da biomassa granular e, conseqüentemente, estabelecerá esta tecnologia como um tratamento viável para efluentes domésticos. Neste contexto, este trabalho buscou estudar a influência de diferentes velocidades ascensionais em RBS como condição operacional para o desenvolvimento de grânulos aeróbios no tratamento de esgoto doméstico diluído.

2 Materiais e Método

Para desenvolvimento da pesquisa, foram utilizados dois RBS em escala piloto com volume útil de 115,5 L, diâmetro interno de 24,5 cm e relação altura/diâmetro de 10. Ambos os reatores não foram inoculados e foram alimentados com esgoto doméstico proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Mangueira, localizada em Recife, Brasil. Também foram utilizados ciclo operacional de 3 h e troca volumétrica de 71%. Para obtenção do objetivo do trabalho foram aplicadas as seguintes velocidades ascensionais 1,3 cm.s⁻¹ para o RBS I e 0,88 cm.s⁻¹ para RBS II.

Visando acelerar a produção de biomassa e selecionar a de melhor sedimentabilidade, aplicaram-se durante o startup (4 semanas) reduções semanais do tempo de sedimentação e, conseqüentemente, o aumento da fase aeróbia em ambos reatores. Os tempos de aeração e sedimentação passaram de 125 min e 50min para 165 min e 10 min, respectivamente. Assim, após esse período, as 3 horas do ciclo operacional foram divididas entre as seguintes etapas: (i) enchimento 1 min; (ii) aeração 165 min; (iii) sedimentação 10 min e (iv) descarte 4 min.

Coletas semanais foram realizadas do afluente, licor misto e efluente. As análises de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio total Kjeldahl (NTK), Fósforo Total (FT), Série de Sólidos e Sólidos Suspensos Voláteis no Licor Misto (SSVLM) foram realizadas de acordo com o Standard Methods (APHA 2012). Para acompanhar o desenvolvimento da biomassa e a formação de grânulos foram utilizadas Fotomicrografias ópticas de campo claro com o auxílio de um microscópio óptico (Leica® DME). A sedimentabilidade do lodo foi determinada pelo Índice Volumétrico do Lodo (IVL) para diferentes tempos de sedimentação (após 10 e 30 min) de acordo com a metodologia proposta por Schwarzenbeck, Erley e Wilderer (2004), e calculado pela equação 1 (eq. 1):

$$IVL_t = \frac{(VLS_t \cdot 1000)}{SSTLM} \quad \text{eq. 1}$$

Onde IVL_t corresponde ao IVL calculado para diferentes tempos “t”; VLS_t ao volume sedimentado após “t” minutos, e; $SSTLM$ a concentração de Sólidos Suspensos Totais no

3 Resultados e discussão

Sabendo que é comum a utilização de alta pressão de seleção das partículas aplicando baixos tempos de sedimentação para estimular a formação dos grânulos (TAY et al, 2001) e considerando a perda inicial de SSVLM (*whasout*) após a inoculação do sistema (Guimarães 2017, Wagner 2015), optou-se pela não utilização de inóculo nesse trabalho, buscando o desenvolvimento de biomassa adaptada às condições impostas. Sendo assim, a concentração inicial de SSVLM corresponde à concentração inicial de SSV no esgoto bruto. No entanto, o curto tempo de sedimentação utilizado para impedir o crescimento de biomassa floculenta – dado que o material suspenso é constantemente lavado do sistema – quando associado à alta troca volumétrica e a alta velocidade ascensional, acarretou uma perda severa da biomassa no RBS I (Figura 2), a qual não foi compensada pelo crescimento bacteriano. O RBS II, por sua vez, por apresentar menor velocidade ascensional apresentou melhor retenção de biomassa no sistema. Os valores médios de idade do lodo encontrados para os reatores RBS I e II durante o período de operação foram $1,19 \pm 1,46$ dias e $3,76 \pm 3,72$ dias respectivamente. Fotomicrografias da biomassa podem ser observadas na Figura 3.

Ao observarmos o desenvolvimento da biomassa no RBS I utilizando microscopia ótica, foi identificada a predominância de flocos durante boa parte do período de operação. Somente após 91 dias de operação (Figura 3b) foi possível observar grânulos pequenos. Para o RBS II, a partir de 30 dias foi possível observar uma agregação inicial da biomassa; aos 71 dias, flocos eram grandes com centros densos; aos 78 dias notou-se a presença de grânulos formados com características semelhantes ao 87º dia (Figura 3d).

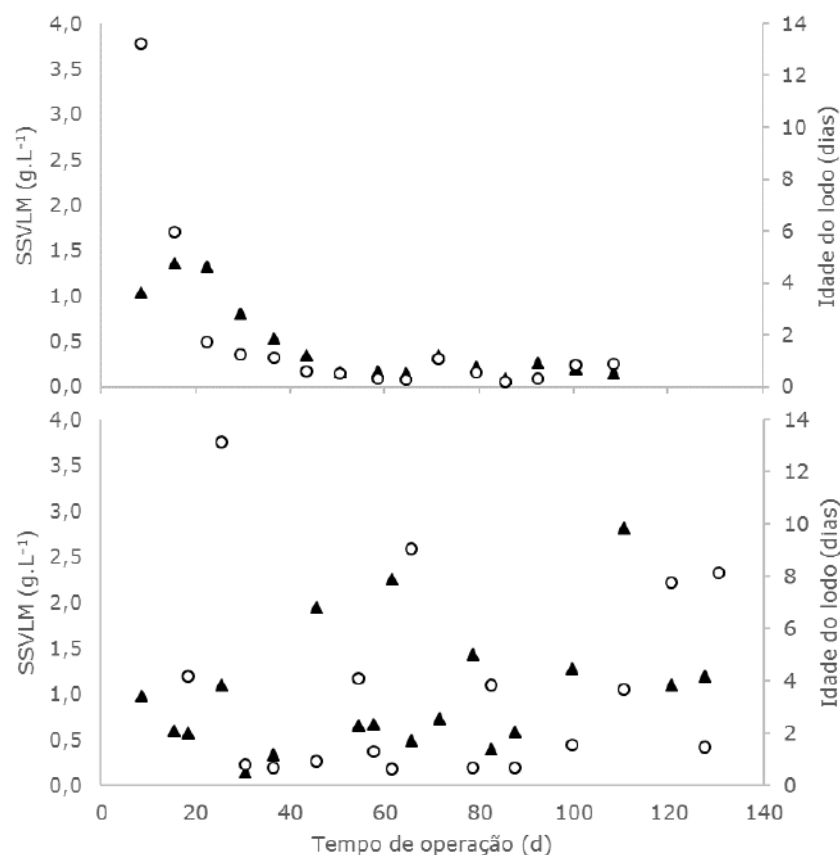


Figura 2. Concentração de SSVLM (▲) e Idade do Lodo (○) para o RBS I (a cima) e RBS II (abaixo)

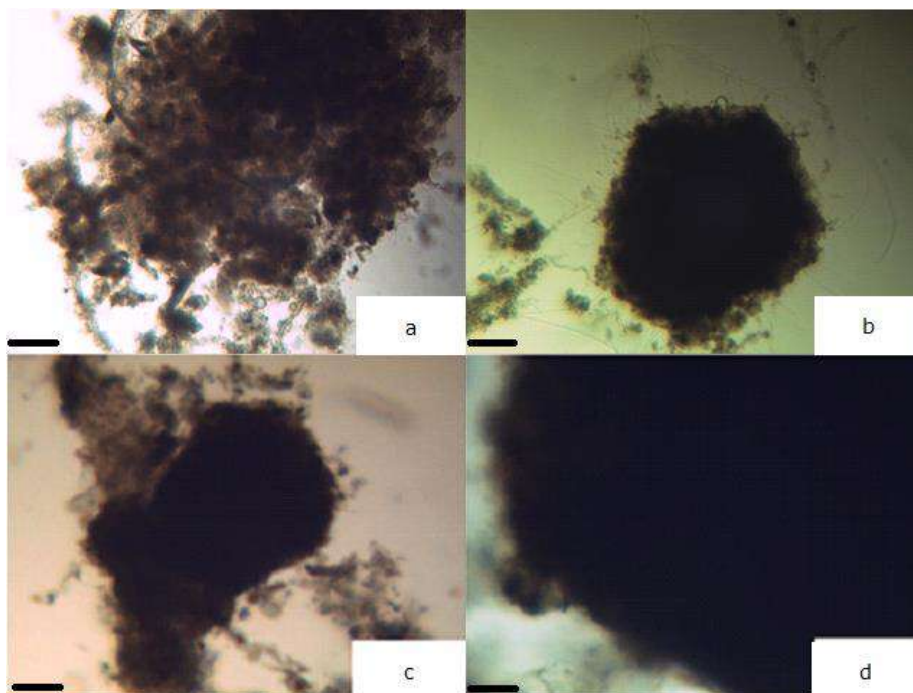


Figura 3. Fotomicrografias ópticas de campo claro da biomassa dos sistemas com aumento de 100x (Barra = 100µm) em diferentes dias de operação: (a) RBS I - 78 dias; (b) RSB I - 91 dias; (c) RBS II - 71 dias; (d) RBS II - 87 dias

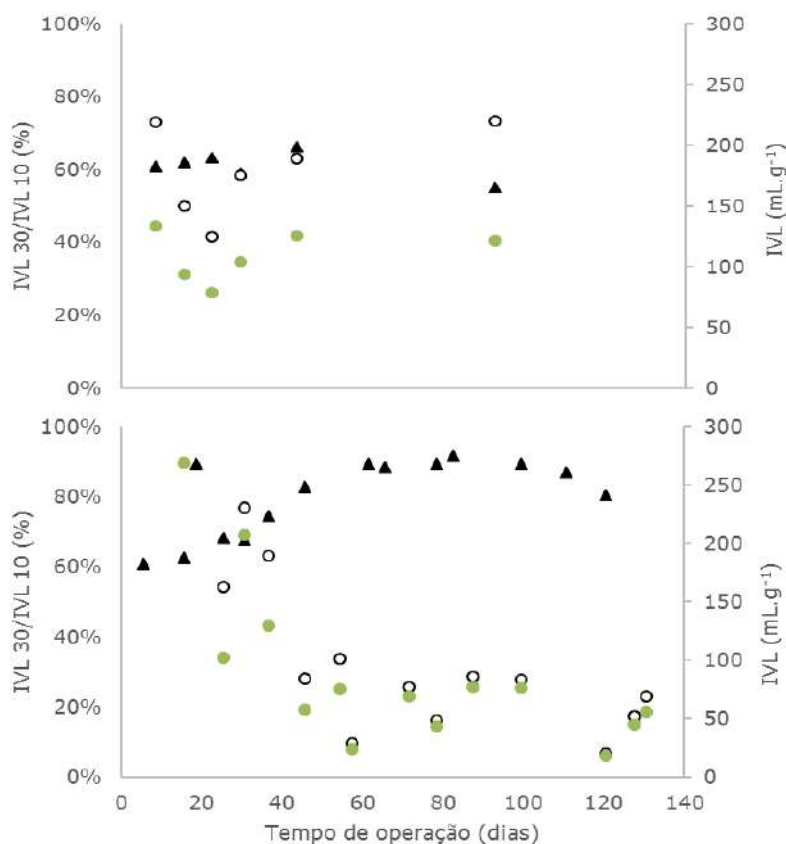


Figura 4. Relação IVL 30/IVL 10 (▲), IVL 10 (○) e IVL 30 (■) para o RBS I (a cima) e RBS II (abaixo)

Ao observarmos o desenvolvimento da biomassa no RBS I utilizando microscopia óptica, foi identificada a predominância de flocos durante boa parte do período de operação. Somente após 91 dias de operação (Figura 3.b) foi possível observar grânulos pequenos. Para o RBS II, a partir de 30 dias foi possível observar uma agregação inicial da biomassa; aos 71 dias, flocos eram grandes com centros densos; aos 78 dias notou-se a presença de grânulos formados com características semelhantes ao 87º dia (Figura 3.d).

Os dados referentes ao IVL (Figura 4) demonstraram que a operação do RBS II resultou em um lodo de melhor sedimentabilidade quando comparado com o RBS I. Apesar de a literatura afirmar que maiores trocas volumétricas resultam em menores IVL, a perda de lodo e a constante renovação do mesmo (baixa idade de lodo) impossibilitaram a auto-imobilização da biomassa.

Quanto ao desempenho dos reatores, não houve diferença significativa na eficiência de remoção de DQO (RBS I: $87,9 \pm 5,2\%$; RBS II: $81,3 \pm 6,5\%$). Pode-se inferir que apesar do RBS I apresentar menor concentração de biomassa ($0,50 \pm 0,44 \text{ g.L}^{-1}$) comparado com o RBS II ($1,04 \pm 0,69 \text{ g.L}^{-1}$), a maior concentração de oxigênio dissolvido fornecida pelo maior volume de ar (maior velocidade ascensional) neste reator favoreceu uma melhor atividade metabólica das bactérias.

As eficiências de remoção de nutrientes, por sua vez, apesar de apresentarem grande variação (Figura 5) foram ligeiramente superiores no RBS II. As regiões inter-quartis foram limitadas pelos seguintes valores: FT - 5,5%-24,3% para o RBS I e 14,4%-36,4% para o RBS II; NTK - 8,5% - 39,5% para o RBS I e 26,3 - 45,0% para o RBS II. Infere-se que essa diferença entre as remoções também está associada a concentração de oxigênio dissolvido, uma vez que os processos envolvidos na remoção de nutrientes necessitam de diferentes condições oxidativas (zonas aeróbias e anaeróbias/anóxicas). Assim, uma menor concentração de oxigênio favoreceu a remoção destes. Outro fator seria a presença de grânulos maiores e mais densos, proporcionando um maior gradiente de difusão de oxigênio dissolvido no interior dos grânulos.

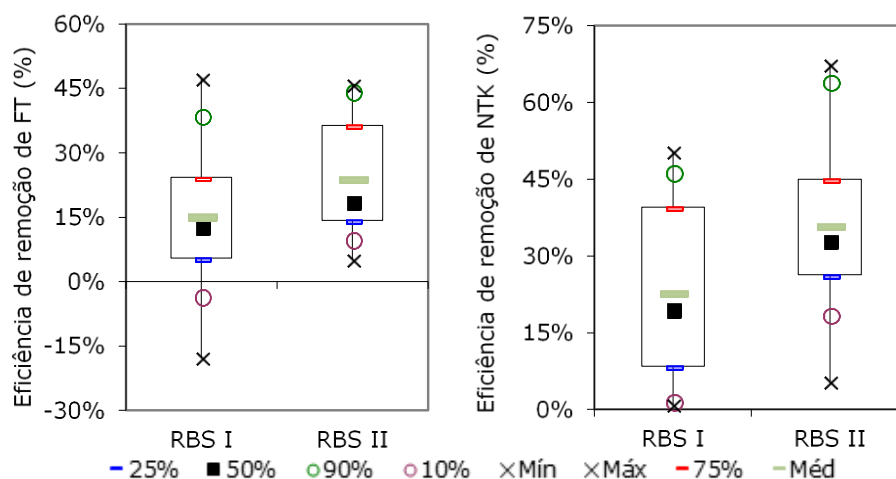


Figura 5. Boxplot: Eficiência de remoção de FT e NTK para RBS I e RBS II

4 Considerações finais

Considerando o objetivo geral deste trabalho, foi possível verificar que uma menor velocidade ascensional favoreceu o processo de granulação utilizando esgoto doméstico diluído como substrato e sem a presença de inóculo. Também foi possível verificar que com a utilização dessa condição operacional este processo é qualitativamente melhor (granulação mais rápida, presença de grânulos com melhor sedimentabilidade, e maior remoção de NTK e FT). Ressalta-se que não houve diferença significativa em termos de remoção de matéria orgânica e grânulos foram obtidos aos 91 e 78 dias de operação, para o RBS I e II, respectivamente.

Referências

- APHA (2012). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 22 ed. American Public Health Association. United Book Press: Washington.
- Dai Y. J., Jiang Y. X., SU H. J. (2015). Influence of an aniline supplement on the stability of aerobic granular sludge. *Journal of Environmental Management* 162, 115-122.
- De Kreuk M.K., Heijnen J.J., Van Loosdrecht M.C.M. (2005). Simultaneous COD, Nitrogen and Phosphate removal by aerobic granular sludge. *Biotechnology and Bioengineering* 90, 761-769.
- Franca R.D.G., Vireira A., Mata A.M.T., Carvalho G.S., Pinheiro H.M., Lourenço N.D. (2015). Effect of an azo dye on the performance of an aerobic granular sludge sequencing batch reactor treating a simulated textile wastewater. *Water Research* 85, 327-336.
- Guimarães L.B. (2017) *Elucidação microbiológica do lodo granular na remoção de nutrientes e recuperação de exopolímeros de esgoto sanitário*. Tese. 258 p. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina.
- Liu W., Zhang J., Jin Y., Zhao X., Cai Z. (2015). Adsorption of Pb(II), Cd(II) and Zn(II) by extracellular polymeric substances extracted from aerobic granular sludge: Efficiency of protein. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 3, 1223-1232.
- Mishima K., Nakamura M. (1991). Self-immobilization of aerobic activated sludge - a pilot study of the aerobic upflow sludge blanket process in municipal sewage treatment. *Water Science & Technology* 23, 981-990.
- Pijuan M., Werner U., Yuan Z.G. (2011) Reducing the startup time of aerobic granular sludge reactors through seeding floccular sludge with crushed aerobic granules. *Water Research* 45 (16) 5075-5083.
- Royal Haskoning DHV (2018) (Amersfoort). *Brazil - São Lourenço da Mata*, Recife. Disponível em: <<https://www.royalhaskoningdhv.com/en-gb/nereda/nereda-plants/brazil-sao-lourenco-da-mata-recife/425>>. Acesso em: 12 abr. 2019.
- Schwarzenbeck N., Erley R., Wilderer P. (2004). Aerobic granular sludge in a SBR-system treating wastewater rich in particulate matter. *Water Science and Technology* 49, 41-46.
- Show K. Y., Lee D. J., Tay J. H. (2012). Aerobic Granulation: Advances and Challenges. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 167, 1622-1640.
- Tay J. H., Liu Q. S., Liu Y. (2001). The effects of shear force on the formation, structure and metabolism of aerobic granules. *Applied Microbiology and Biotechnology* 57 (1-2) 227-233.
- Wagner J. (2015). *Processo de granulação aeróbia em reatores em bateladas sequenciais em condições de baixa carga orgânica*. Tese. 191 p. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina.
- Winkler M. K. H., Kleerebezem R., De Bruin, L. M. M., Verheijen P. J. T., Abbas B., Habermacher J., Van Loosdrecht M. C. M. (2013). Microbial diversity differences within aerobic granular sludge and activated sludge flocs. *Applied Microbiology and Biotechnology* 97 (16) 7447-7458.

Estudo de satisfação dos utilizadores dos serviços de águas e resíduos em Portugal continental

*João Rosa **, *David Alves*

Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Rua Tomás da Fonseca, Torre G - 8º, 1600-209 LISBOA, Portugal

Resumo

A satisfação dos utilizadores finais dos serviços constitui uma importante ferramenta de diagnóstico do modo como as entidades gestoras e os serviços regulados pela ERSAR funcionam, permitindo identificar potenciais problemas na prestação destes serviços. Este trabalho vem na sequência do estudo piloto realizado pela ERSAR em 2016, aprofundando o nível de análise às NUTS II, o que se traduziu na realização de 5340 entrevistas em 2017. Os resultados demonstram um elevado nível de satisfação dos utilizadores finais com os serviços (abastecimento de água, saneamento de águas residuais, gestão de resíduos urbanos e recolha seletiva). Ao nível nacional, o serviço que regista maior satisfação é o serviço de abastecimento de água, com uma média de 5,83 pontos numa escala de 1 a 7. O serviço de recolha seletiva de resíduos é, de entre os quatro serviços, aquele cuja avaliação média é inferior (5,36 pontos), ainda assim uma avaliação claramente positiva. Ao nível regional, a região Norte apresenta os níveis de satisfação mais elevados. Os utilizadores finais das restantes regiões, apesar de genericamente satisfeitos, avaliaram de forma não tão positiva alguns aspetos da prestação do serviço, algo que merecerá certamente a atenção do regulador.

Palavras-Chave: estudo de satisfação dos consumidores, serviços de águas e resíduos, perceção sobre a qualidade do serviço, regulação.

doi: 10.22181/aer.2019.0403

* *Autor para correspondência*
E-mail: joao.rosa@ersar.pt (João Rosa)

Consumer satisfaction with the water and waste services in Portugal

João Rosa *, David Alves

Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Rua Tomás da Fonseca, Torre G - 8º, 1600-209 LISBOA, Portugal

Abstract

Consumer satisfaction analysis is an important tool for diagnosing how the operators and the services regulated by ERSAR work, allowing the identification of potential problems in service provision. This work follows the pilot project study produced by ERSAR in 2016, analysing satisfaction in further depth at the NUTS II level, which resulted in the realization of 5340 telephone interviews in 2017. The results have shown a high level of consumer satisfaction with these services (water supply, wastewater management, municipal waste management and selective waste collection). At the national level, the service with greatest satisfaction levels is the water supply service with an average of 5.83 points on a scale from 1 to 7. Selective waste collection service ranks last amongst these four services in terms of global satisfaction with 5.36 points, which, nevertheless, is a clearly positive evaluation. At regional level, Norte region consumers are the most satisfied. Generically, consumers from other regions are also satisfied, although they have evaluated some aspects of service not so positively. This will certainly allow for a more thorough analysis by the regulator.

Keywords: consumer satisfaction study, water and waste services, quality of service perception, regulation.

doi: 10.22181/aer.2019.0403

* *Corresponding author*
E-mail: joao.rosa@ersar.pt (João Rosa)

1 Introdução

A ERSAR é a autoridade reguladora dos serviços de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos urbanos e a autoridade competente para a qualidade da água para consumo humano. Nesse âmbito, a ERSAR procura assegurar uma correta proteção dos utilizadores dos serviços de águas e resíduos, por um lado garantindo e controlando a qualidade dos serviços públicos prestados e, por outro, supervisionando e controlando os preços praticados. A ERSAR tem ainda a incumbência de assegurar as condições de igualdade e transparência no acesso e no exercício da atividade no setor, bem como de consolidar um efetivo direito público à informação geral sobre os serviços.

Através da prossecução da sua missão regulatória, a ERSAR produziu ao longo dos anos uma extensa base de conhecimento sobre o setor regulado, essencial à sustentação das suas atribuições. Um dos principais pilares da intervenção regulatória da ERSAR corresponde à avaliação da qualidade do serviço prestado aos utilizadores pelas entidades gestoras dos serviços de águas e resíduos em Portugal. Esta avaliação é efetuada desde 2004 e apresentada no Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal, focando-se na informação técnica que as entidades fornecem à ERSAR. Esta perspetiva não aborda, no entanto, a componente dedicada à avaliação que os utilizadores finais fazem do serviço que lhes é prestado. Assim, para que o ciclo de avaliação abranja os pontos de vista de todos os agentes da cadeia de valor dos serviços que regula, a ERSAR decidiu elaborar o “Estudo de satisfação dos utilizadores dos serviços de águas e resíduos” em Portugal continental. Neste contexto, a presente comunicação tem por objetivo apresentar os resultados obtidos no referido estudo.

2 Metodologia

A metodologia baseou-se num primeiro estudo (estudo piloto) que a ERSAR realizou sobre a satisfação dos utilizadores dos serviços de águas e resíduos em Portugal continental (Rosa 2016).

O universo da amostra resumiu-se aos indivíduos com 18 ou mais anos; utilizadores domésticos dos serviços de abastecimento público de água, saneamento de águas residuais urbanas e gestão de resíduos urbanos, simultaneamente; utilizadores dos serviços há mais de um ano, tendo frequentemente contacto com a respetiva fatura e residentes nas cinco NUTS II de Portugal continental.

Esta abordagem permitiu obter respostas mais experientes e informadas sobre os serviços, bem como aumentar a eficiência do inquérito (três serviços numa entrevista).

A amostra foi constituída por 1068 entrevistas válidas em cada região NUTS II de Portugal continental, num total de 5340 entrevistas. Em cada região NUTS II, recorreu-se a uma amostra estratificada ao nível das regiões NUTS III, aplicando-se em cada uma delas uma amostra aleatória simples. O intervalo de confiança foi de 95 % e a margem de erro de ± 3 %.

O inquérito desenvolvido dividiu-se em três blocos obrigatórios (um por serviço) e um bloco facultativo (com as características socioeconómicas do entrevistado). Cada entrevista teve uma duração média de 14,7 min, sendo a escala utilizada a que consta do Quadro 1.

O inquérito e definição da escala de avaliação tiveram como base o modelo de avaliação da satisfação dos consumidores de serviços "SERVQUAL" e diversa literatura sobre esta temática (Zeithaml et al. 1991, Ramsay 1973, Zeithaml 1988).

Na análise dos valores médios (valores quantitativos contínuos), considerou-se que o intervalo [1; 3] corresponde a avaliações negativas; e o intervalo [5; 7] a avaliações positivas. Os valores acima de “3” e abaixo de “5” (]3; 5]) são considerados como avaliações razoáveis, tendo em conta a natureza contínua dos valores analisados. Quanto maiores forem os valores das categorias ou dos valores médios registados, mais positiva é a avaliação.

Quadro 1. Escala utilizada no inquérito de satisfação dos utilizadores dos serviços de água e resíduos em Portugal continental

Menor avaliação		Maior avaliação	
N.º da escala	Significado	N.º da escala	Significado
1	"Muito insatisfeito"	7	"Muito satisfeito"
1	"Discordo totalmente"	7	"Concordo inteiramente"
1	"Qualidade muito baixa dado o preço"	7	"Qualidade muito alta dado o preço"
1	"Muito caro"	7	"Muito barato"
1	"Não recomendo nada"	7	"Recomendo muito"

3 Resultados e interpretação dos resultados

3.1 Satisfação global

A Figura 1 e Figura 2 apresentam a informação sobre a média da satisfação global dos utilizadores finais dos serviços de águas e resíduos em Portugal continental e em cada região NUTS II.

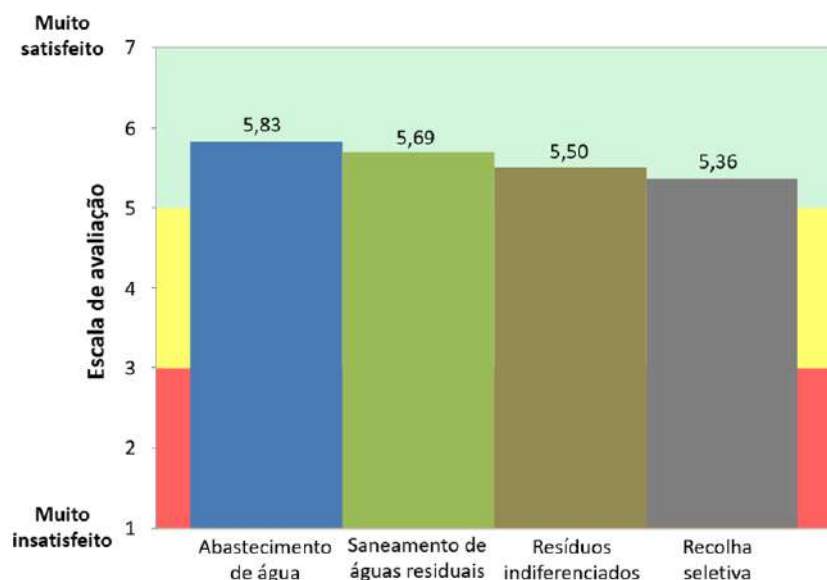


Figura 1. Satisfação global dos utilizadores finais dos serviços de águas e resíduos em Portugal continental

Os utilizadores finais dos serviços de águas e resíduos de Portugal continental estão globalmente satisfeitos com o serviço que lhes é prestado. Apenas na região do Algarve a satisfação com o serviço de recolha seletiva apresenta níveis menos elevados, sendo ainda assim um nível de satisfação razoável. De resto, em todos os serviços e regiões a satisfação é positiva, com especial destaque para a região Norte onde os seus valores são mais elevados.

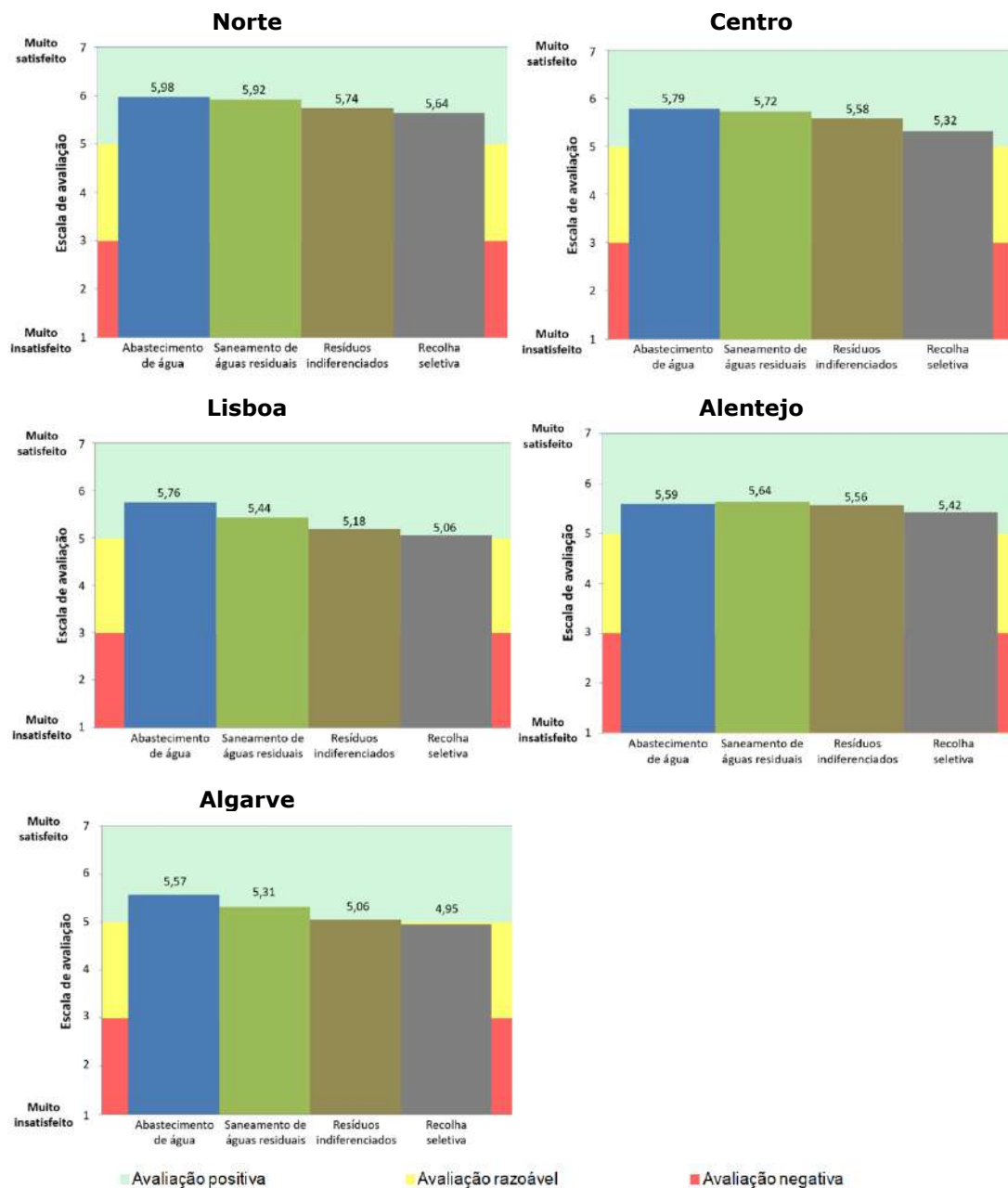


Figura 2. Satisfação global dos utilizadores finais dos serviços de águas e resíduos por NUTS II

3.2 Satisfação específica

A Figura 3 apresenta a informação sobre a distribuição geográfica da satisfação específica dos utilizadores finais do serviço de abastecimento público de água em Portugal continental. Observou-se que todos os itens analisados são avaliados positivamente em todas as regiões de Portugal continental. A qualidade e pressão da água, a frequência de interrupções e rapidez na sua resolução é assim avaliada de forma positiva. O Norte é a região com melhores índices de satisfação e o item melhor avaliado é o da "Frequência de interrupções no abastecimento de água".

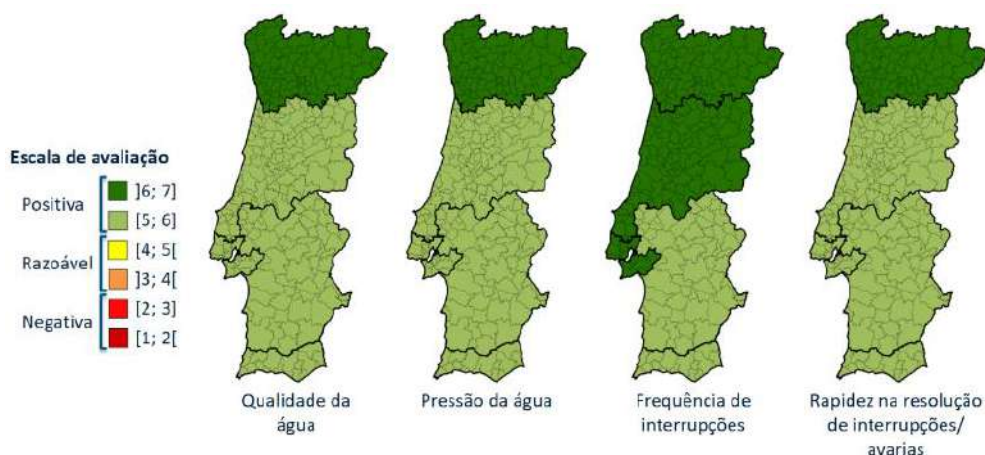


Figura 3. Distribuição geográfica por NUTS II da satisfação específica dos utilizadores finais do serviço de abastecimento público de água em Portugal continental

A Figura 4 apresenta a informação sobre a distribuição geográfica da satisfação específica dos utilizadores finais do serviço de saneamento de águas residuais em Portugal continental. Os itens "Frequência de situações em que se vê o esgoto a escorrer na via pública" e "Rapidez da intervenção em caso de haver esgoto a escorrer na via pública" são avaliados positivamente em todas as regiões de Portugal continental, sendo o primeiro item o melhor avaliado e a região Norte aquela com melhor avaliação.

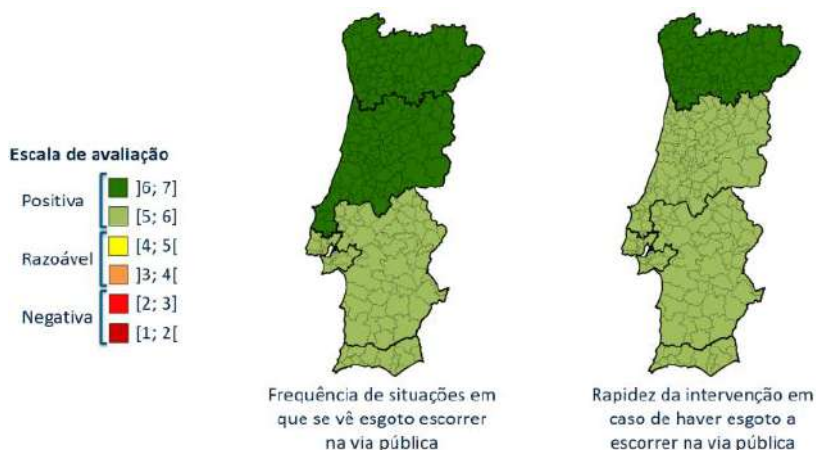


Figura 4. Distribuição geográfica por NUTS II da satisfação específica dos utilizadores finais do serviço de saneamento de águas residuais em Portugal continental

A Figura 5 apresenta a informação sobre a distribuição geográfica da satisfação específica dos utilizadores finais do serviço de gestão de resíduos urbanos em Portugal continental. Na gestão de resíduos urbanos, a satisfação específica é globalmente positiva para o universo de Portugal continental nos itens relacionados com a proximidade dos contentores do lixo e ecopontos. Por outro lado, os restantes itens relacionados com a limpeza, manutenção e acumulação de lixo nos contentores e ecopontos é avaliado de forma razoável. No cômputo geral, a região Norte foi a única que registou avaliação positiva na totalidade dos itens da satisfação específica e o item "Proximidade dos contentores de lixo" foi o único com avaliação positiva em todas as regiões NUTS II. Nos restantes itens, para além de se registarem avaliações positivas em algumas regiões, verificaram-se os seguintes casos de avaliações razoáveis:

- "Limpeza e manutenção dos contentores de lixo" – Centro, Lisboa, Alentejo e Algarve;
- "Acumulação de lixo junto aos contentores e ecopontos" – Lisboa, Alentejo e Algarve;
- "Proximidade aos ecopontos" – Alentejo.

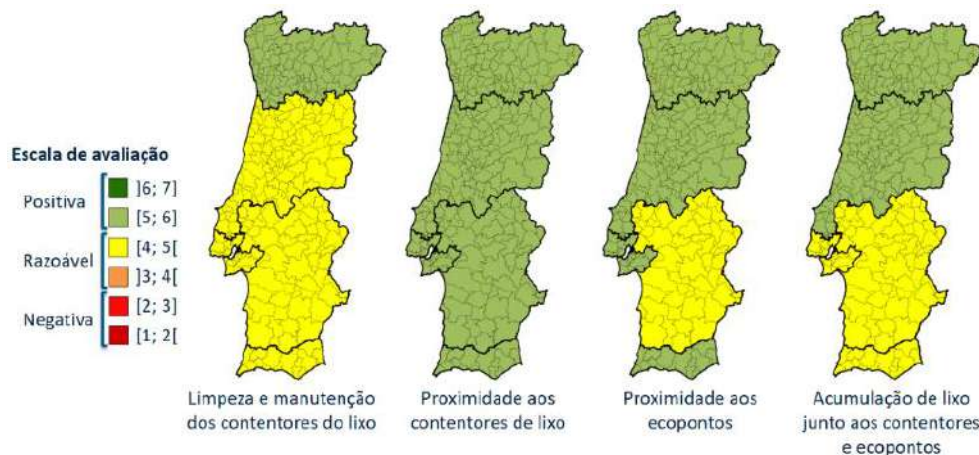


Figura 5. Distribuição geográfica por NUTS II da satisfação específica dos utilizadores finais do serviço de gestão de resíduos urbanos em Portugal continental

3.3 Perceção/Confiança

A Figura 6 apresenta a informação sobre a distribuição geográfica da perceção/confiança que os utilizadores finais têm do serviço de abastecimento público de água em Portugal continental. A informação sobre a qualidade da água é de fácil acesso para os utilizadores interessados sobre esta temática. Excetuando os utilizadores da região de Lisboa, que avaliam esta afirmação de forma razoável, todas as restantes regiões apresentam níveis de elevada concordância com a afirmação. Sobre esta temática, conclui-se que existem igualmente lacunas na disseminação de informação relacionada com a qualidade da água, uma vez que se registou uma elevada taxa de inquiridos a responder "Não sabe/ Não responde" à pergunta. No que respeita à entidade gestora (EG) avisar antes de proceder a uma interrupção, em geral os utilizadores avaliam positivamente esta questão. A avaliação decorre do facto de o Norte classificar muito positivamente esta questão, pois nas restantes regiões do País a avaliação é razoável.

No capítulo dedicado à questão sobre se bebe água da torneira, a maioria (69 %) dos utilizadores de Portugal continental assume beber água da torneira. É nas regiões Norte, Centro e Lisboa que existe maior hábito no consumo de água da torneira. Por outro lado, no Alentejo e Algarve, o consumo de água da torneira é assumido por pouco mais de metade dos seus utilizadores.

A Figura 7 apresenta a informação sobre a distribuição geográfica da perceção/confiança que os utilizadores finais têm do serviço de saneamento de águas residuais em Portugal continental. Verifica-se que os utilizadores finais dos serviços de águas residuais em Portugal continental consideram que a rede não liberta odores desagradáveis e que não há descargas diretas nos rios, ribeiras e/ou praias nos seus concelhos, revelando confiança elevada no processo de tratamento de águas residuais. O único item onde a avaliação não é positiva em todas as regiões NUTS II é o da libertação de odores desagradáveis da rede, onde os utilizadores da região de Lisboa avaliam de forma razoável este item.

A Figura 8 apresenta a informação sobre a distribuição geográfica da perceção/confiança que os utilizadores finais têm do serviço de gestão de resíduos urbanos em Portugal continental. Na gestão de resíduos urbanos, os utilizadores de todas as regiões revelam ter elevada confiança nos processos de tratamento e valorização dos resíduos urbanos. A única exceção ocorre no Algarve, onde estes avaliam razoavelmente o tratamento dos resíduos urbanos indiferenciados.

Inquiridos sobre se recomendariam a terceiros os serviços prestados pela entidade gestora, a generalidade dos utilizadores dos vários serviços de Portugal continental recomendaria os serviços prestados pela respetiva entidade. A única exceção acontece no Algarve, onde os utilizadores manifestam maior moderação (razoável) na disponibilidade em recomendar o serviço a outrem.

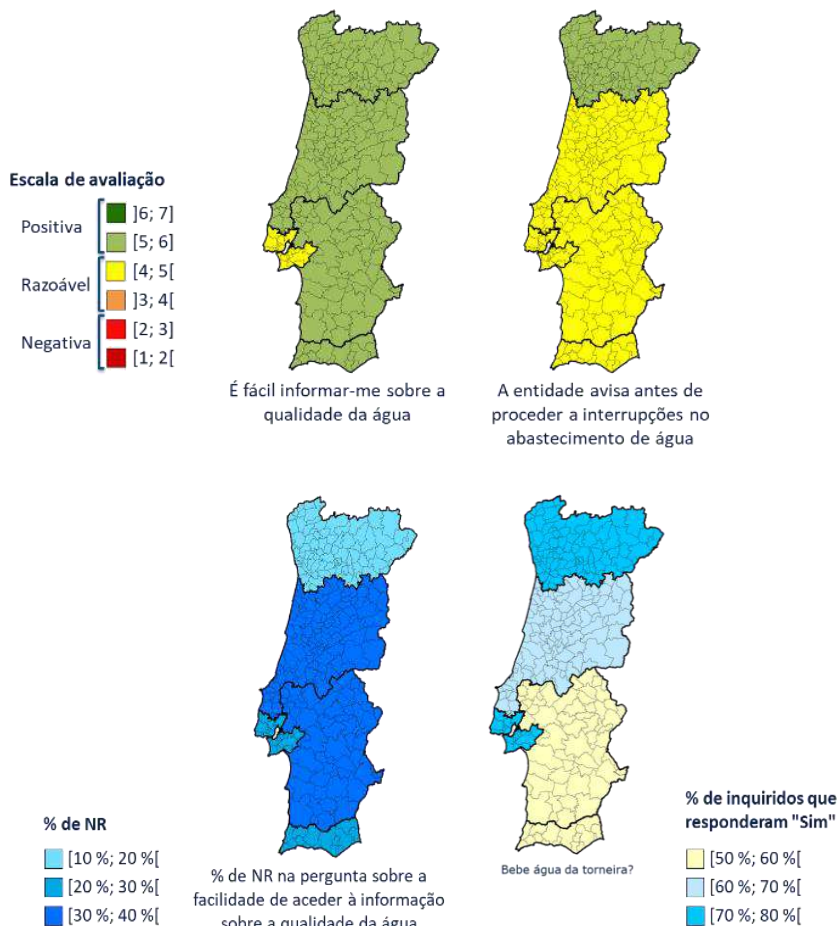


Figura 6. Distribuição geográfica por NUTS II da perceção/confiança dos utilizadores finais do serviço de abastecimento público de água em Portugal continental

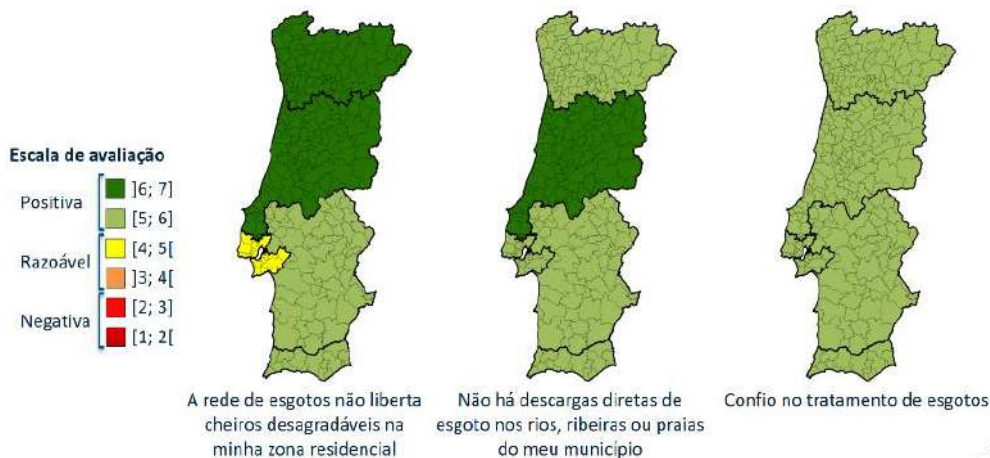


Figura 7. Distribuição geográfica por NUTS II da perceção/confiança dos utilizadores finais do serviço de saneamento de águas residuais em Portugal continental



Figura 8. Distribuição geográfica por NUTS II da perceção dos utilizadores finais do serviço de gestão de resíduos urbanos em Portugal continental

3.4 Valor apercibido

A Figura 9 apresenta a informação sobre a distribuição geográfica em Portugal continental da perceção que os utilizadores têm da qualidade dos serviços de águas e resíduos face aos preços praticados.

Regista-se que os serviços de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos urbanos são avaliados positivamente se for considerada a média de Portugal continental. No entanto, se a análise for desagregada ao nível das NUTS II, a realidade é um pouco diferente. No abastecimento de água, os serviços são avaliados positivamente nas regiões do Norte, Centro e Lisboa e razoavelmente nas regiões do Alentejo e Algarve. Por outro lado, no saneamento, a avaliação é positiva no Norte e Lisboa e razoável no Centro, Alentejo e Algarve. Na gestão de resíduos urbanos, apenas os utilizadores da região Norte avaliam de modo positivo o serviço. As restantes regiões apresentam avaliação razoável.



Figura 9. Distribuição geográfica por NUTS II da perceção que os utilizadores têm sobre a qualidade dos serviços face aos preços praticados

A Figura 10 apresenta a informação sobre a distribuição geográfica em Portugal continental da perceção que os utilizadores têm dos custos dos serviços de águas e resíduos face a outros de carácter essencial. Em Portugal continental, os utilizadores avaliam de forma razoável os custos com os serviços de águas e resíduos face a outros

de caráter essencial. Este comportamento é replicado em todas as regiões, exceto, no Norte, onde essa relação é positiva.

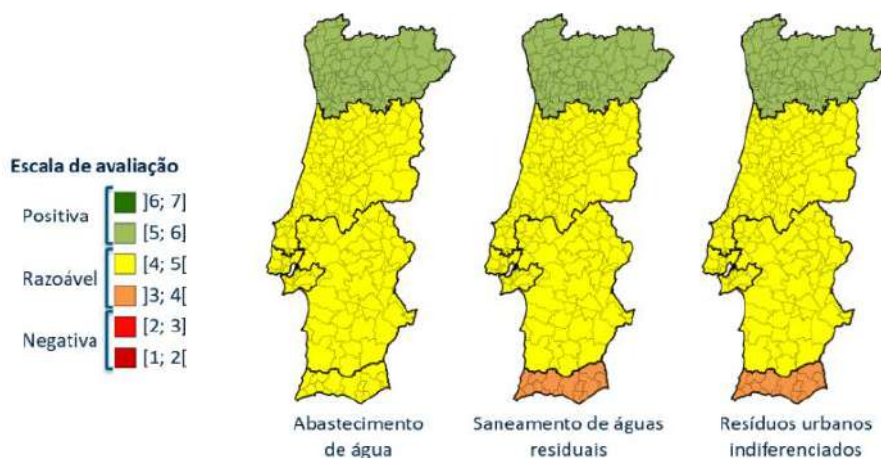


Figura 10. Distribuição geográfica por NUTS II da percepção que os utilizadores têm dos custos dos serviços de águas e resíduos face a outros de caráter essencial

3.5 Imagem

Na questão sobre se os utilizadores conhecem a sua entidade gestora, é no abastecimento que existe uma maior taxa de conhecimento (74 % de respostas corretas), seguido do saneamento (65 %) e por último da gestão de resíduos (56 %). No geral, é no Algarve que existe a maior taxa de conhecimento por parte dos utilizadores.

3.6 Interface com o utilizador final

A maioria dos utilizadores não contactou os serviços de apoio ao cliente dos serviços de águas e resíduos. Apenas 18 % dos utilizadores finais contactaram, pelo menos, uma das entidades gestoras dos serviços de águas e resíduos, sendo que na maioria dos casos os contactos deram-se no abastecimento público de água (16 %). O universo de indivíduos que contactaram os serviços de apoio ao cliente avalia positivamente todos os itens relacionados com estes serviços, com exceção do item do saneamento "A entidade cumpre com os serviços na data e horário com os quais se compromete", em que a avaliação é razoável. Dos inquiridos que contactaram os serviços para apresentar uma reclamação, no global, estes ficaram positivamente satisfeitos com a forma como a EG de abastecimento de água resolveu as suas reclamações e razoavelmente satisfeitos com a resolução das suas reclamações pelas EG de saneamento ou gestão de resíduos urbanos.

3.7 Faturação

A Figura 11 apresenta a informação sobre a distribuição geográfica da satisfação dos utilizadores finais sobre a faturação dos serviços de águas e resíduos em Portugal continental. Nos itens "Clareza dos valores cobrados pelo consumo de água", "Clareza dos valores cobrados pelo saneamento", "Clareza dos valores cobrados pela recolha de lixo" e "Formas de pagamento disponíveis", os utilizadores finais avaliam positivamente estes itens. Por outro lado, na "Clareza das outras taxas a pagar" e "Precisão das estimativas feitas pela entidade" a avaliação é feita de forma razoável. Em termos de regiões, é na região Norte que existe um maior grau de satisfação para com os itens sobre a faturação, com todos os aspetos a serem avaliados de forma positiva. Lisboa e o Algarve são as regiões que apresentam um menor grau de satisfação, apresentando em quatro dos seis itens analisados avaliações razoáveis.

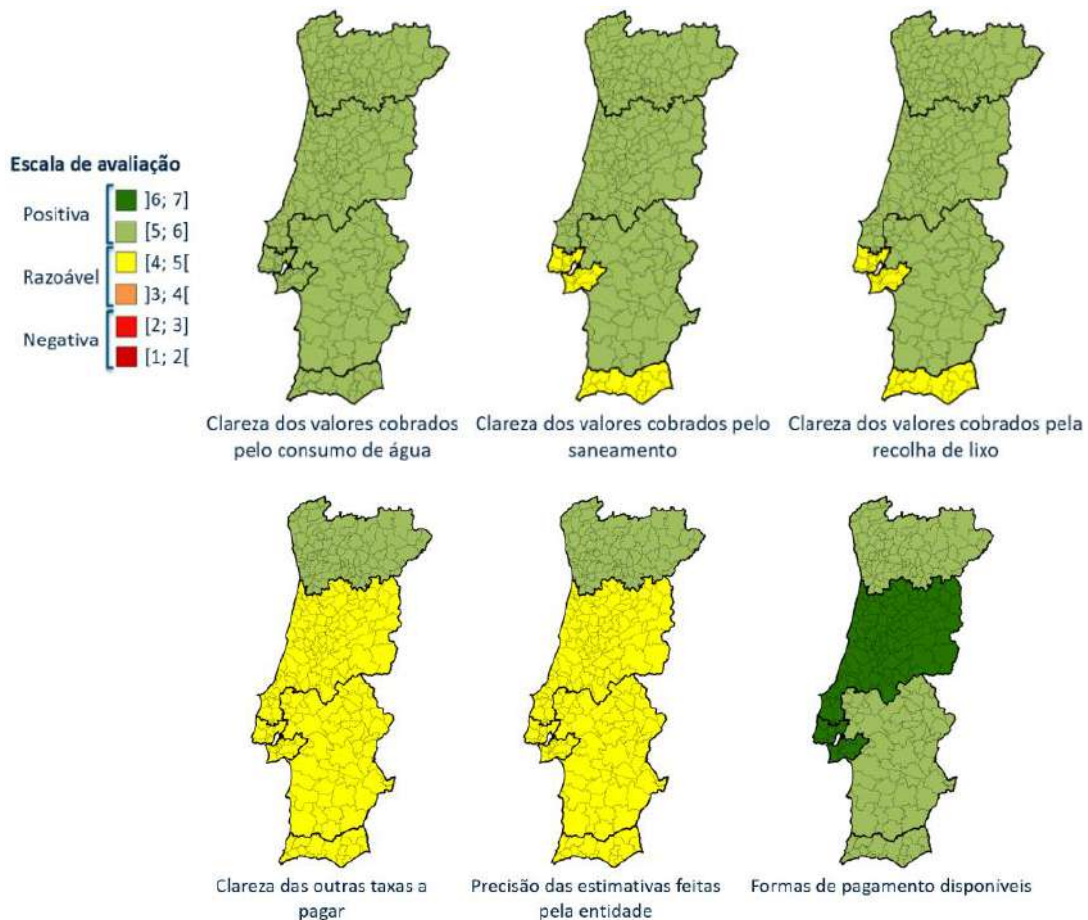


Figura 11. Distribuição geográfica por NUTS II da satisfação dos utilizadores finais sobre a faturação dos serviços de águas e resíduos em Portugal continental

4 Conclusões

Em suma, conclui-se que em Portugal continental a esmagadora maioria dos utilizadores finais estão satisfeitos com os serviços de abastecimento de água, de saneamento de águas residuais e de gestão de resíduos urbanos, quer na vertente dos resíduos indiferenciados, quer na recolha seletiva.

No cômputo geral dos itens analisados, os serviços de abastecimento e saneamento são melhor avaliados do que os da gestão de resíduos. O estudo permite também concluir que existe alguma ineficácia na divulgação de informação sobre a qualidade da água e que é nas regiões a sul que o consumo de água da torneira é menor.

Constata-se que os utilizadores finais consideram que a qualidade dos serviços é positiva face aos preços praticados pelas entidades gestoras. Por outro lado, foi também verificado que, face a outros serviços de caráter essencial, os serviços de águas e resíduos são avaliados de forma razoável. Na faturação, os itens sobre a clareza das outras taxas a pagar e a precisão das estimativas são os que carecem de um maior investimento por parte das entidades gestoras.

Por último, conclui-se que a satisfação dos utilizadores finais é um importante indicador de desempenho dos serviços, não substituindo a informação técnica fornecida pelas EG no âmbito dos indicadores da qualidade do serviço avaliada pela ERSAR, mas sim complementando-a. Este exercício permite assim obter informação sobre o que os utilizadores realmente pensam dos serviços, que por vezes é diferente do que se passa em termos técnicos no terreno.

Referências

- Ramsay J.O. (1973). The effect of number of categories in rating scales on precision of estimation of scale values. *Psychometrika* 37, 513-532.
- Zeithaml V. A. (1988). Consumer Perceptions Of Price, Quality, And Value: A Means-End Model and Synthesis of Evidence. *Journal of Marketing* 52, 2-22.
- Zeithaml V.A., Parasuraman A., Berry L.L. (1991). Refinement and Reassessment of SERVQUAL Scale. *Journal of Retailing* 67, 420-450.
- Rosa J. (2016). *Estudo de satisfação dos utilizadores dos serviços de águas e resíduos, Estudo piloto*. Relatório ERSAR n.º 1/2016, ERSAR.



H₂Oⁿ

O Pavilhão da Água voltou ao seu estado líquido.

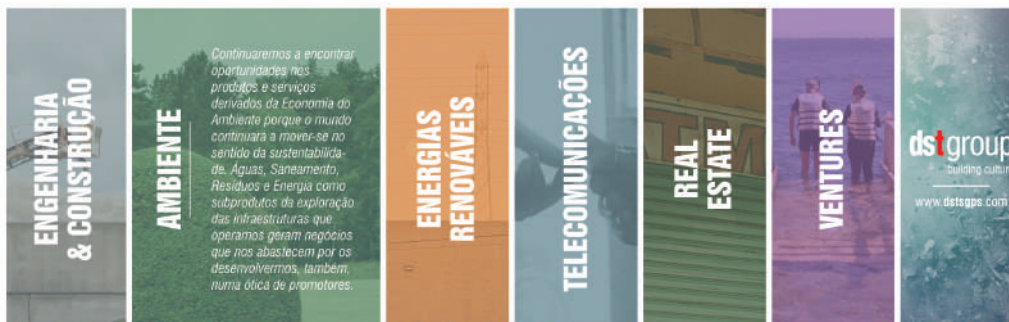
Venha descobrir um espaço renovado, e desfrute de novas e variadas experiências científicas sobre os fenómenos naturais da Água.

- Novas experiências
- Mais interatividade
- Novos desafios
- Mais conhecimento

PAVILHÃO DA ÁGUA
Um mergulho no conhecimento.

Saiba tudo em:
pavilhoedaagua.pt
facebook.com/pavilhoedaagua

Porto.



ENGENHARIA & CONSTRUÇÃO

AMBIENTE
Continuaremos a encontrar oportunidades nos produtos e serviços derivados da Economia do Ambiente porque o mundo continuará a mover-se no sentido da sustentabilidade. Águas, Saneamento, Resíduos e Energia como subprodutos da exploração das infraestruturas que operamos geram negócios que nos abastecem por os desenvolvermos, também, numa ótica de promotores.

ENERGIAS RENOVÁVEIS

TELECOMUNICAÇÕES

REAL ESTATE

VENTURES

dstgroup
building culture
www.dstgpps.com

Projetar para inundações – efeito do perfil, rugosidade e declive das ruas nos critérios de segurança

Luís Mesquita David

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

Resumo

Projetar a drenagem superficial para eventos excepcionais, que excedem a capacidade de transporte da rede de coletores em áreas urbanas, tem sido uma estratégia de mitigação e adaptação aos efeitos das alterações climáticas. Nos últimos anos, também tem vindo a ser aplicado nas novas urbanizações de um número crescente de cidades em todo o mundo. Consiste em conceber percursos contínuos de escorrência superficial, incluindo a drenagem sobre estradas locais e secundárias, por forma a gerir os caudais em excesso decorrentes de chuvadas extremas e evitar impactes significativos das inundações. Neste artigo faz-se uma revisão dos critérios de segurança mais utilizados, que geralmente limitam a altura de água, a velocidade do escoamento da inundação e relações entre estas variáveis, e avaliam-se os efeitos da forma da secção transversal, da rugosidade e do declive dos arruamentos no cumprimento desses critérios. A avaliação é efetuada com base em expressões analíticas e resultados gráficos.

Palavras-Chave: drenagem urbana, precipitação, eventos extremos, inundações, critérios de segurança.

doi: 10.22181/aer.2019.0404

* *Autor para correspondência*
E-mail: ldavid@lnec.pt (Luís David)

Design for floods - effect of the profile, roughness and slope of streets in safety criteria

Luís Mesquita David

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

Abstract

Designing for exceedance events has been a mitigation and adaptation strategy to the effects of climate changes. In recent years, it has also been applied in the design of new developments in an increasing number of cities throughout the world. It consists in designing a continuous route for the overland flow, including the drainage on local and secondary roads, in order to handle the exceeding flow rates during exceptional rainfalls and to avoid significant impacts of floods. In this paper, flood safety criteria are reviewed, which generally consist of limiting water height, flood flow velocity and relationships between these variables. The effects of cross-sectional shape, roughness and slope of the streets in meeting these criteria are also evaluated. The evaluation is based on analytical expressions and graphic results.

Keywords: urban drainage, rainfall, extreme events, flooding, safety criteria.

doi: 10.22181/aer.2019.0404

* *Corresponding author*
E-mail: ldavid@lnec.pt (Luís David)

1 Introdução

A crescente atenção dada à adoção de medidas de adaptação às alterações climáticas e de mitigação dos efeitos dos fenómenos extremos tem conduzido a uma maior atenção da drenagem das inundações em áreas urbanas, associadas aos eventos com grande período de retorno. Em linha com a evolução dos requisitos das diretivas europeias, cada vez mais os projetos de novas urbanizações ou de áreas intervencionadas estão enquadrados em planos mais alargados de gestão integrada de inundações, cobrindo áreas mais vastas do desenvolvimento urbano ou, mais convenientemente, a totalidade das bacias de drenagem (WMO 2009, APFM 2017). Neste contexto, tem vindo a ser adotado um conjunto de medidas visando a renaturalização dos sistemas urbanos, o controlo das aflúncias pluviais na origem e o amortecimento dos hidrogramas de cheia. Já há alguns anos que, em Portugal, o projeto dos sistemas de drenagem urbanos deixou de se cingir ao dimensionamento da rede de coletores e órgãos de coleta das águas pluviais, para passar a incluir a implementação e o dimensionamento destas medidas, comumente designadas por SUDS - sistemas urbanos de drenagem sustentável, ou por LIDS (“low impact development”) (David e Sousa 2008, David et al. 2011, Woods-Ballard et al. 2015). No entanto, em Portugal, ainda poucos projetos e estudos dão atenção à drenagem superficial das inundações associadas a precipitações com período de retorno elevado.

Projetar a reabilitação urbana para eventos que excedem a capacidade da rede de coletores tem sido uma estratégia de adaptação e de remediação para mitigar os efeitos das inundações. Nos últimos anos, o projeto para eventos de excedência (em inglês, “designing for exceedance events”) tem também vindo a ser exigido no projeto de novas urbanizações de um número crescente de cidades em todo o mundo (Balmforth et al. 2006, City of Lethbridge 2014, Melbourne Water 2015).

O projeto para eventos de excedência consiste em conceber percursos contínuos de escorrência superficial, incluindo a drenagem sobre estradas locais e secundárias, por forma a gerir e evitar impactes significativos das inundações. Tipicamente, estas rotas de drenagem superficial são dimensionadas para eventos com período de retorno de 100 anos, admitindo, por vezes, o agravamento das solicitações devido aos efeitos das alterações climáticas.

O dimensionamento do percurso da inundação deve garantir alturas e velocidades de escoamento nos arruamentos aceitáveis, minimizando os riscos para as pessoas e viaturas, as inundações em edifícios e outros locais onde não devem ocorrer e os danos das infraestruturas urbanas por erosão.

De acordo com uma norma australiana, o produto das alturas de água com as velocidades do escoamento em arruamentos e outros caminhos superficiais acessíveis à população não deverá exceder $0,4 \text{ m}^2/\text{s}$ (Shand et al. 2011). Com base em investigações de campo e trabalhos experimentais, Shand et al. (2011) concluíram que este critério leva a um reduzido risco de derrubamento para crianças que estejam nesses arruamentos e que é conservativo para adultos, desde que a altura de água não exceda $0,5 \text{ m}$, no caso das crianças, e $1,2 \text{ m}$ no dos adultos, nem ocorram velocidades superiores a $3,0 \text{ m/s}$. No entanto, a perda de equilíbrio de pessoas pode acontecer para caudais inferiores em zonas com condições locais adversas ou no caso de idosos ou pessoas debilitadas fisicamente. Por outro lado, o risco de instabilidade e flutuação de veículos aumenta substancialmente para alturas de água superiores a $0,2\text{-}0,3 \text{ m}$ (Shand et al. 2011).

No Canadá, a cidade de Lethbridge (2014) indica os seguintes pares de valores máximos entre a altura (h) e a velocidade da inundação (U): ($0,09 \text{ m} - 3,0 \text{ m/s}$); ($0,21 \text{ m} - 2,0 \text{ m/s}$); ($0,32 \text{ m} - 1,0 \text{ m/s}$) e ($0,80 \text{ m} - 0,5 \text{ m/s}$). A curva destes pares é muito próxima da relação $h.U = 0,4 \text{ m}^2/\text{s}$. O regulamento dessa cidade estabelece que a acumulação de

água é permitida em arruamentos locais, que os arruamentos secundários já devem assegurar que pelo menos uma faixa não seja inundada e que as faixas de circulação em artérias principais não devem ser utilizadas para drenagem de inundações. No planeamento urbano é fundamental assegurar a não acumulação de água ou o desvio dos caudais de zonas vulneráveis, tais como pontos baixos do terreno e locais onde não é possível garantir relações seguras entre o produto das alturas de água com as velocidades do escoamento (David et al., 2011).

De acordo com vários manuais do Canadá e EUA, a altura máxima de água acumulada ou escoada sobre arruamentos deve ser limitada a 0,3 m, medida a partir da base da sarjeta e para o período de retorno de 100 anos. Os edifícios deverão ficar pelo menos 0,3 m acima do nível de cheia para o período de retorno de 100 anos (Melbourne Water, 2015).

Na Europa e na América latina, Nanía et al. (2002) e Balmforth et al. (2006) recomendam as seguintes 3 condições: a altura da água deve ser limitada a 0,3 m ou 0,2 m nos arruamentos, para minimizar as inundações nas propriedades e a perturbação do tráfego; o produto da altura e da velocidade da inundação deve ser limitado a $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$, para evitar o risco de derrubamento de pessoas (Nanía et al., 2002); o produto da altura e o quadrado da velocidade deve ser limitado a $1,23 \text{ m}^3/\text{s}^2$, para evitar o risco de escorregamento de peões (Nanía et al. 2002).

Nanía et al. (2002) propõem um limite superior para a relação $h.U$ ($0,5 \text{ m}^2/\text{s}$ em vez de $0,4 \text{ m}^2/\text{s}$) por aquele critério ter sido determinado com base em experiências com alturas de água entre 0,5 e 1,2 m, que consideram excessivas para zonas densamente ocupadas, como as urbanas. No entanto, introduzem o critério do escorregamento, que traduz uma condição significativamente mais conservativa para os escoamentos com velocidades elevadas do que a condição $h.U$. Constatou-se que, quando associado ao critério $h.U \leq 0,4 \text{ m}^2/\text{s}$, o critério $h.U^2 \leq 1,23 \text{ m}^3/\text{s}^2$ passa a ser o determinante para velocidades superiores a exatamente 3 m/s, que corresponde ao limiar da velocidade sugerido por Shand et al. (2011). No entanto, essas velocidades ocorrem para alturas de escoamento reduzidas, geralmente inferiores a 0,2 m, pelo que o perfil dos arruamentos, a sua inclinação transversal e a altura dos passeios podem ter um efeito significativo.

Para o projeto de arruamentos, Balmforth et al. (2006) recomendam que seja acrescentada uma folga relativamente à profundidade da inundação necessária (cerca de 25% para os casos comuns) para ter em consideração a incerteza relacionada com a secção transversal, a rugosidade da superfície, a inclinação do arruamento e a ação das ondas dos veículos em movimento. No entanto, a velocidade deve ser determinada sem incluir essa folga.

Dependendo da qualidade da informação disponível, da escala da área de estudo e da complexidade do trabalho, o dimensionamento dos percursos de escoamento superficial das inundações são feitos através de cálculos mais ou menos simplificados. Nos casos mais complexos são utilizados modelos de simulação matemática que acoplam o modelo da rede de coletores com modelos bidimensionais da superfície. No entanto, estes modelos requerem informação altimétrica de alta resolução (geralmente fornecida por tecnologia LIDAR – “Light Detection and Ranging”) e recursos técnicos, de formação e de tempo elevados. Alternativamente, para os casos mais comuns podem ser utilizados os métodos de dimensionamento clássicos, ou recorrer-se a modelos de drenagem 1D/1D, como o SWMM. Nos estudos mais simples os caminhos superficiais têm sido representados por canais retangulares, que, no entanto, devem ser considerados com precaução. Sempre que possível, nestes casos deverá ser considerada uma secção composta equivalente em V, constituída por uma base triangular sob um perfil retangular (Balmforth et al. 2006).

Neste artigo avalia-se e discute-se o efeito da pormenorização do perfil transversal, do declive e da rugosidade dos arruamentos na variação das alturas, velocidades e caudais

máximos admissíveis de inundação, face aos critérios de segurança propostos por Nanía et al. (2002) e Balmforth et al. (2006). A avaliação é efetuada com base em expressões analíticas e resultados gráficos.

2 Metodologia

Na maior parte dos casos, o perfil dos arruamentos corresponde a uma secção composta com forma semelhante à apresentada no esquema da esquerda da Figura 1. Essa secção pode ser representada de forma mais simples por numa secção composta em V equivalente, conforme representado no esquema central da Figura 1 (que em termos de modelação apresenta a vantagem de não dividir o escoamento nos dois lados da estrada).

Neste trabalho vai-se considerar o escoamento numa secção composta em V, considerando toda a gama viável de declives transversais do pavimento, desde o declive transversal nulo, que corresponde a uma secção retangular, até a um declive transversal tão elevado que os critérios para limitação das relações entre h e U ocorrem para a secção triangular.

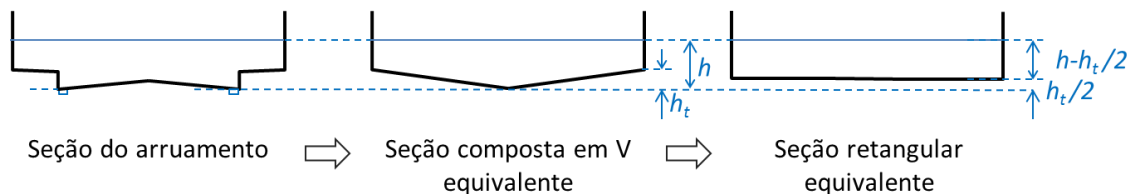


Figura 1. Perfil transversal do arruamento

A lei de resistência do escoamento turbulento rugoso de água pode ser representada pela fórmula de Manning-Strickler:

$$U/(K \cdot \sqrt{S}) = Q/(A \cdot K \cdot \sqrt{S}) = R^{2/3} = (A/P)^{2/3} \quad \text{eq. 1}$$

em que U é a velocidade média na secção transversal ao escoamento, Q é o caudal, K é o coeficiente de rugosidade de Strickler, S é o declive longitudinal da base do arruamento, R é o raio hidráulico; A é a área da secção transversal do escoamento e P é o perímetro molhado.

Para além de se considerar o escoamento de água limpa em regime turbulento rugoso, neste trabalho vão ser consideradas apenas as situações de escoamento em regime rápido e em que a largura da secção transversal é significativamente superior à altura de escoamento ($L \gg h$). Do ponto de vista prático, tem-se $L \gg h$ em praticamente todos os arruamentos, ficando de fora as valas, canais e outras vias concebidas para transportar o escoamento superficial.

Isto significa que, se a secção transversal de escoamento for retangular, o raio hidráulico corresponde à altura de escoamento ($R \approx h$) e se a secção transversal for triangular, o raio hidráulico corresponde a metade altura de escoamento ($R \approx h/2$).

Considere-se uma secção composta em V com altura da secção triangular h_t e altura de água h superior a h_t . Para $L \gg h$, demonstra-se que o caudal e a velocidade média de escoamento dessa secção são iguais ao caudal e à velocidade média numa secção retangular com a mesma largura e altura $h_{eq} = h - h_t/2$ (esquema da direita da Figura 1). Por outras palavras, a altura de escoamento da secção composta (h) corresponde à soma da altura de escoamento na secção retangular equivalente (h_{eq}) com uma sobrelevação dada por $h_s = h_t/2$.

Neste trabalho, os dois critérios de segurança face a inundações, dados por $h \cdot U \leq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$ e por $h \cdot U^2 \leq 1,23 \text{ m}^3/\text{s}^2$, vão ser aplicados a uma secção composta em V com altura da base triangular (h_t) variável, considerando-se assim uma secção genérica e representativa da maior parte dos arruamentos. O conceito da secção retangular equivalente vai ser utilizado nas relações analíticas, permitindo quantificar o efeito da forma do perfil transversal, a par dos efeitos da variação da rugosidade e do declive longitudinal do arruamento.

Na secção seguinte comparam-se e discutem-se as expressões analíticas obtidas para h , U e Q/L , para as secções retangular, triangular e composta, para os dois critérios de segurança, bem como para a situação em que $h \cdot U = 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$ e $h \cdot U^2 = 1,23 \text{ m}^3/\text{s}^2$. Na secção 4 apresentam-se e discutem-se os resultados da variação de h , U e Q/L para diferentes combinações de $K \cdot \sqrt{S}$ e do perfil da secção transversal (h_t). Na secção 5 apresentam-se as conclusões.

3 Expressões analíticas para h , U e Q/L

3.1 Critério A

Designemos por critério A a condição $h \cdot U \leq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$. Para as secções retangular e triangular, esta condição tem a particularidade do caudal por metro de largura da secção transversal não depender de $(K \cdot \sqrt{S})$. Resolvendo o sistema de equações dado pelo critério 1 e pela fórmula de Manning-Strickler, e considerando $L \gg h$, para a secção retangular o caudal máximo é dado por $Q/L \leq 0,5 \text{ m}^3/\text{s/m}$. Para a secção triangular é metade desse valor, $Q/L \leq 0,25 \text{ m}^3/\text{s/m}$.

Os valores de h e de U que igualam a condição $h \cdot U = 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$ dependem de $(K \cdot \sqrt{S})$ (ver fórmulas em baixo).

Para a secção composta com altura da base triangular h_t e largura máxima L , o cálculo de h é iterativo, em função de $(K \cdot \sqrt{S})$ (eq. 8) e só é válido se resultar $h \geq h_t$. Para $h \geq h_t$, o caudal máximo relaciona-se com $0,5 \text{ m}^3/\text{s/m}$ na proporção do raio hidráulico da secção retangular equivalente relativamente ao valor do h calculado (eq. 10). O valor dessa proporção, $(h - h_t/2)/h$, varia entre 0,5 e 1, consoante a secção se aproxime mais da forma triangular ou da retangular, respetivamente, a qual já depende de $(K \cdot \sqrt{S})$.

Se o cálculo iterativo de h resultar $h < h_t$, a secção de escoamento é triangular. Nesse caso, os valores de h e de U são calculados considerando a secção triangular. Como a relação entre a largura da secção triangular obtida e a largura máxima da secção composta (L) é proporcional à relação h/h_t , o caudal máximo é dado por: $Q/L \leq 0,25 \cdot h/h_t \text{ m}^3/\text{s/m}$.

No Quadro 1 apresentam-se as fórmulas de h , U e Q/L para a condição do critério A, para as secções retangular, triangular e composta.

Quadro 1. Fórmulas de h , U e Q/L que verificam o critério A

Secção retangular	$h \leq (K \cdot \sqrt{S})^{-3/5} \cdot 0,5$	eq. 2
	$U \leq (K \cdot \sqrt{S})^{3/5} \cdot 0,5^{2/5}$	eq. 3
	$Q/L \leq 0,5$	eq. 4
Secção triangular	$h \leq 2^{2/5} \cdot (K \cdot \sqrt{S})^{-3/5} \cdot 0,5^{3/5}$	eq. 5
	$U \leq 2^{-2/5} \cdot (K \cdot \sqrt{S})^{3/5} \cdot 0,5^{2/5}$	eq. 6
	$Q/L \leq 2^{-1} \cdot 0,5$	eq. 7
Secção composta (com $h \geq h_t$)	Cálculo iterativo:	
	$h \leq (K \cdot \sqrt{S})^{-1} \cdot (h - h_t/2)^{-2/3} \cdot 0,5$	eq. 8
	$U \leq 0,5/h$	eq. 9
	$Q/L \leq (h - h_t/2)/h \cdot 0,5$	eq. 10

3.2 Critério B

Designando por critério B a condição $h \cdot U^2 \leq 1,23 \text{ m}^3/\text{s}^2$, no Quadro 2 apresentam-se as fórmulas de h , U e Q/L que o verificam, para as secções retangular, triangular e composta. Tal como para o critério A, o cálculo das variáveis para a secção composta é iterativo.

Quadro 2. Fórmulas de h , U e Q/L que verificam o critério B

Secção retangular	$h \leq (K \cdot \sqrt{S})^{-6/7} \cdot 1,23^{3/7}$	eq. 11
	$U \leq (K \cdot \sqrt{S})^{3/7} \cdot 1,23^{2/7}$	eq. 12
	$Q/L \leq (K \cdot \sqrt{S})^{-3/7} \cdot 1,23^{5/7}$	eq. 13
Secção triangular	$h \leq 2^{4/7} \cdot (K \cdot \sqrt{S})^{-6/7} \cdot 1,23^{3/7}$	eq. 14
	$U \leq 2^{-2/7} \cdot (K \cdot \sqrt{S})^{3/7} \cdot 1,23^{2/7}$	eq. 15
	$Q/L \leq 2^{-5/7} \cdot (K \cdot \sqrt{S})^{-3/7} \cdot 1,23^{5/7}$	eq. 16
Secção composta (com $h \geq h_t$)	Cálculo iterativo:	
	$(K \cdot \sqrt{S})^2 \cdot h \cdot (h - h_t/2)^{4/3} \leq 1,23$	eq. 17
	$U \leq (1,23/h)^{1/2}$	eq. 18
	$Q/L \leq (h - h_t/2) \cdot h^{-1/2} \cdot 1,23^{1/2}$	eq. 19

3.3 Linhas de separação do critério relevante

Resolvendo o sistema de equações do critério A, critério B e da fórmula de Manning-Strickler, e considerando $L \gg h$, conclui-se que os valores de h e de U que igualam as equações de ambos os critérios não dependem da forma da secção transversal. Tem-se $h = 0,203 \text{ m}$ e $U = 2,46 \text{ m/s}$. No entanto, o valor de $K \cdot \sqrt{S}$ associado a essa igualdade depende da forma da secção transversal. Tem-se $K \cdot \sqrt{S} \approx 7,12 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ para a secção retangular e $K \cdot \sqrt{S} \approx 11,30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ para a triangular. No Quadro 3 apresentam-se as fórmulas que estabelecem as linhas de separação da relevância dos critérios.

Quadro 3. Fórmulas de Q/L , $K \cdot \sqrt{S}$, h e U que igualam os dois critérios

Secção retangular	$Q/L = 0,5$	eq. 20
	$K \cdot \sqrt{S} = 1,23^{5/3} \cdot 0,5^{-7/3} = 7,12 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$	eq. 21
	$h = 0,5^2/1,23 = 0,203 \text{ m}$	eq. 22
	$U = 1,23/0,5 = 2,460 \text{ m s}^{-1}$	eq. 23
Secção triangular	$Q/L = 2^{-1} \cdot 0,5$	eq. 24
	$K \cdot \sqrt{S} = 2^{2/3} \cdot 1,23^{5/3} \cdot 0,5^{-7/3} = 11,30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$	eq. 25
	$h = 0,5^2/1,23 = 0,203 \text{ m}$	eq. 26
	$U \approx 1,23/0,5 = 2,460 \text{ m s}^{-1}$	eq. 27
Secção composta (com $h \geq h_t$ para os 2 critérios)	$Q/L = 0,5 - 1,23/0,5 \cdot h_t/2$	eq. 28
	$K \cdot \sqrt{S} = 1,23/0,5 \cdot (0,5^2/1,23 - h_t/2)^{-2/3} = f(h_t)$	eq. 29
	$h = 0,5^2/1,23 = 0,203 \text{ m}$	eq. 30
	$U = 1,23/0,5 = 2,460 \text{ m s}^{-1}$	eq. 31

4 Variação de h , U e Q/L em função de h_t e de $K \cdot \sqrt{S}$

Os gráficos da Figura 2 representam a variação de h , U e Q/L em função da altura da secção triangular da base da secção composta (h_t), para diferentes valores de $K \cdot \sqrt{S}$. Os resultados sobre o eixo das ordenadas correspondem à situação da secção retangular ($h_t = 0 \text{ m}$). No gráfico do meio (que relaciona h com h_t) indica-se a tracejada a linha a 45° , que separa o escoamento em secção triangular do escoamento em secção composta. Nos três gráficos está sombreada a área em que a condição B é a determinante ($h \cdot U^2 \leq \text{lim}B$), que, conforme se viu anteriormente, corresponde às alturas

de escoamento inferiores a 0,203 m e às velocidades superiores a 2,46 m/s. No gráfico dos caudais, para valores de $h_t \leq 0,203$ m, a condição B é determinante abaixo da reta dada por $Q/L = 0,5 - 1,23/0,5 \cdot h_t/2$, que interceta o eixo das ordenadas no valor máximo $Q/L = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, e corresponde a $Q/L = 0,25 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ em $h_t = 0,203$ m. Para valores de $h_t \geq 0,203$ m, a condição B é determinante abaixo da curva correspondente a $K \cdot \sqrt{S} \approx 11,30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$.

Para valores de Strickler de $75 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$, os valores de $K \cdot \sqrt{S} = 3, 5, 10, 15, 20, 25$ e $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ correspondem a declives longitudinais do pavimento de, respetivamente, 0,16%, 0,44%, 1,8%, 4%, 7%, 11% e 16%. Os resultados confirmam que para h_t inferiores a 0,203 m, a condição B ($h \cdot U^2 \leq 1,23 \text{ m}^3/\text{s}^2$) é determinante para os valores de $K \cdot \sqrt{S}$ inferiores a $11,30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ (eq. 24). Conforme se viu anteriormente (eq. 21), para a secção retangular a condição B é determinante para $K \cdot \sqrt{S} > 7,1 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$, que corresponde a declives de 0,63%, 0,9% e 1,4% para valores de K de, respetivamente, $60 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$, $75 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ e $90 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$. Para a secção triangular, o valor de $K \cdot \sqrt{S}$ que separa as condições A e B aumenta para $11,3 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$.

Talvez a contribuição mais importante do gráfico dos caudais consista em demonstrar (e permitir avaliar) a redução significativa de Q/L com o efeito combinado do aumento de h_t e do aumento de $K \cdot \sqrt{S}$ (ou do declive, assumindo K constante). Por exemplo, para a secção retangular (eixo das ordenadas), tem-se $Q/L = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ para todos os valores de $K \cdot \sqrt{S}$ superiores a $7,1 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$. No entanto, à medida que o valor de h_t aumenta, vai-se dando uma redução do caudal, que, no caso da curva $K \cdot \sqrt{S} = 5 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$, e $h_t = 0,20$ m reduz o caudal para $Q/L = 0,33 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ (66% da secção retangular). No caso da curva $K \cdot \sqrt{S} = 15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ (que para $K = 75 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ corresponde a um declive de 4%) Q/L reduz-se para $0,36 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, para a secção retangular, e para $0,18 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, para o perfil da secção com $h_t = 0,20$ m (72% e 35%, respetivamente, dos $0,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ dados pela condição A para secções retangulares).

Estes resultados mostram que, para arruamentos com algum declive, o caudal máximo admissível ocorre para pequenas alturas de escoamento, geralmente abaixo do lancil dos passeios, onde pequenas diferenças do perfil do arruamento têm efeitos significativos no cálculo desse caudal. Na prática, embora muitos arruamentos possam apresentar características relativamente constantes ao longo de vários metros, em termos de uma descrição fina da altimetria transversal ocorre uma variabilidade bastante mais significativa, devido a diversas singularidades (cruzamentos, passadeiras, lombas, depressões junto a sarjetas e sumidouros, variações na concavidade e no declive para um ou outro lado, consoante o declive natural, etc...).

Estes gráficos deixam em evidência a grande incerteza dos resultados que está associada ao traçado do perfil dos arruamentos e a influência que a qualidade da informação altimétrica utilizada pode ter nos resultados finais. Por exemplo, caso se disponham de dados obtidos por LIDAR e o seu tratamento permita representar as cotas mais baixas localizadas junto aos lancis dos passeios, os resultados poderão ser significativamente mais conservativos do que se este rigor não for considerado.

Estes resultados mostram que uma forma de aumentar significativamente a capacidade de transporte e/ou a segurança dos arruamentos mais inclinados consistirá em reduzir as pendentes transversais dos arruamentos, aproximando o perfil da secção retangular. Nestes casos, o encaminhamento das águas pluviais para os coletores deverá ser feito através de caleiras com grades a toda a largura do arruamento.

Os resultados obtidos confirmam que a incerteza no coeficiente de Strickler tem um impacto relativamente reduzido face à incerteza dos outros parâmetros discutidos. Por exemplo, considerando $K = 75 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ para pavimento alcatroado, um desvio de $\pm 10 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ (65 e $85 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$) corresponde a uma variação de cerca de $\pm 15 \%$ de $K \cdot \sqrt{S}$. No entanto, $K \cdot \sqrt{S} \pm 15 \%$ tem um efeito relativamente reduzido no cálculo de Q/L , em particular no caso dos maiores valores de $K \cdot \sqrt{S}$.

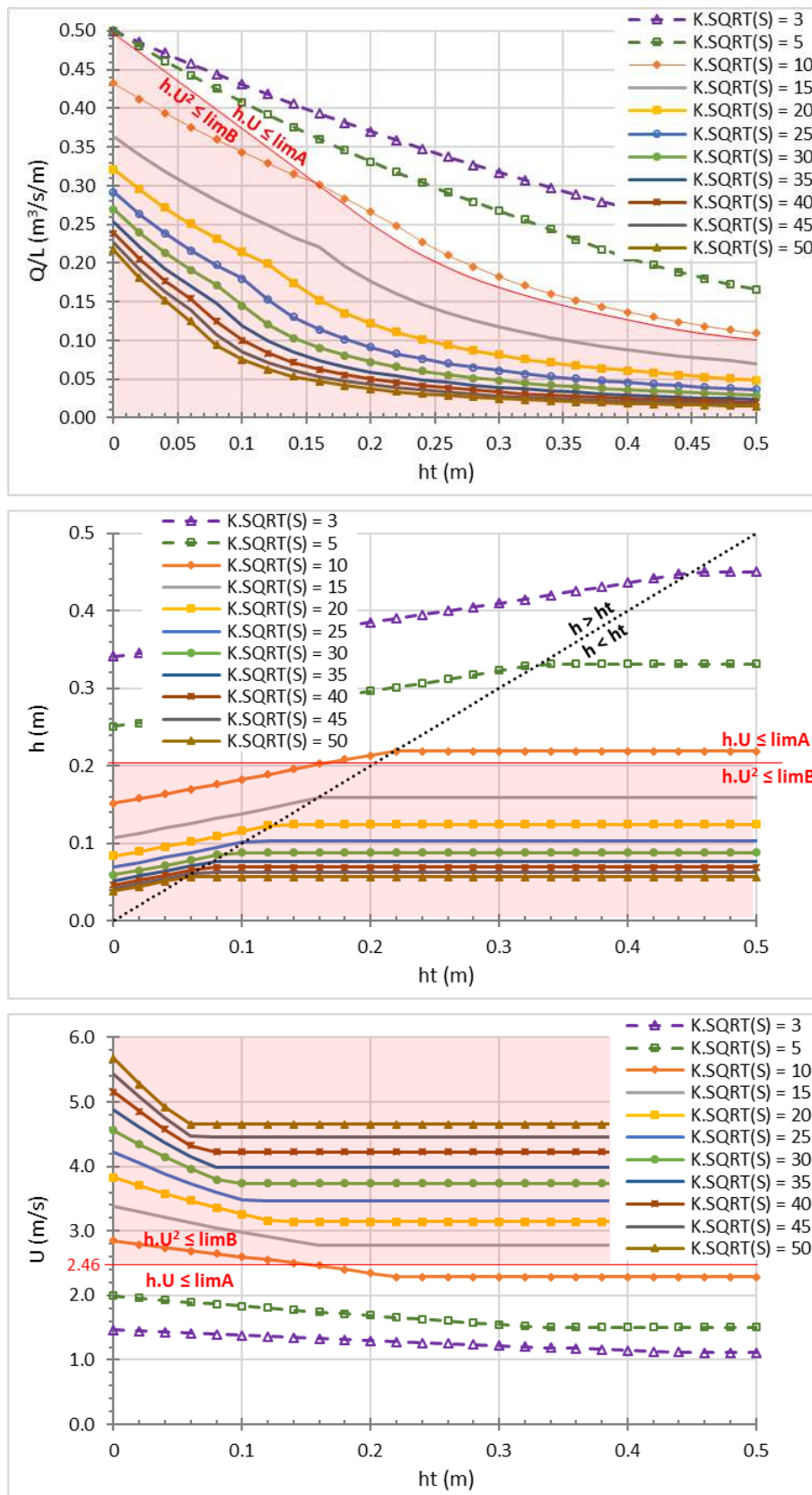


Figura 2. Variação de h , U e Q/L em função de h_t para diferentes valores de $K \cdot \sqrt{S}$

5 Conclusões

A consideração do perfil transversal dos arruamentos tem um impacto significativo na verificação dos critérios de segurança para inundações. No entanto, a incerteza associada aos dados, aos modelos e aos resultados é geralmente significativa, devendo ser tida em conta no compromisso entre rigor e simplificação do traçado dos perfis.

A consideração de secções compostas de base triangular e topo retangular, conforme a Figura 1, poderá levar a um adequado compromisso entre a pormenorização e a simplificação do perfil dos arruamentos, e entre a qualidade dos dados disponíveis e o esforço do cálculo para uma grande parte de estudos e projetos. O gráfico de Q/L apresentado na Figura 2 poderá ser utilizado na verificação expedita do cumprimento dos critérios de segurança de arruamentos, nos casos em que os caudais de inundação são calculados sem recorrer a modelos pormenorizados de drenagem dual. A metodologia apresentada é válida apenas em situações de escoamento turbulento rápido e em que a largura da secção transversal é significativamente superior à altura do escoamento ($L \gg h$).

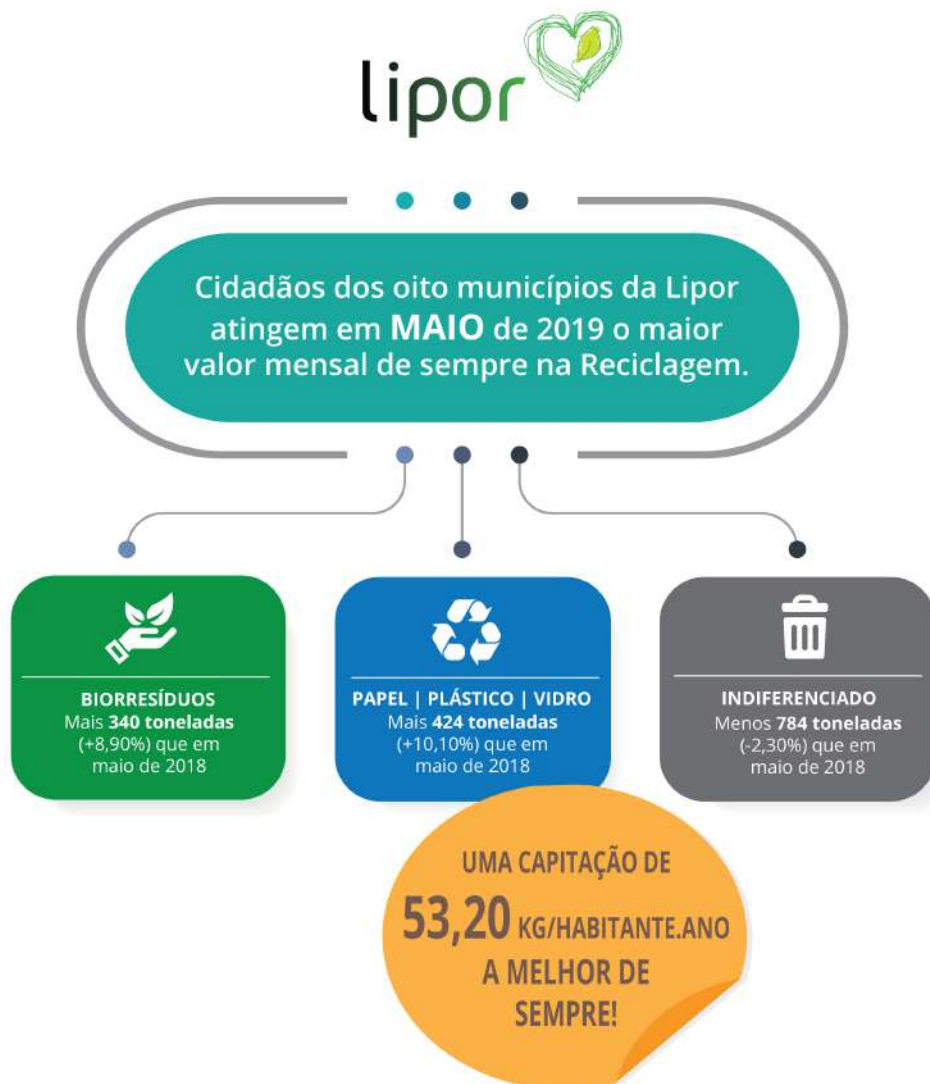
O aumento do declive transversal dos arruamentos pode reduzir significativamente o valor do caudal máximo de inundação que cumpre tanto o critério A como o B, devido à redução do raio hidráulico. O mesmo acontece com o declive longitudinal, devido ao aumento da velocidade. Nos arruamentos com declive longitudinal acentuado, a aproximação da secção transversal à retangular será uma forma de aumentar o caudal de inundação que pode escoar superficialmente a cumprir os critérios de segurança.

Referências

- APFM (2017). *Selecting measures and designing strategies for integrated flood management. A guidance document*. Associated Programme on Flood Management
- Balmforth D., Digman C., Kellagher R., Butler D. (2006). *Designing for exceedance in urban drainage – good practice*. CIRIA C635, London, UK.
- City of Lethbridge (2014). *Design standards. Section 3: Stormwater Management*, Canada, <http://www.lethbridge.ca/Doing-Business/Planning-Development/Urban-Construction-Right-of-Way-Coordination/Documents/Section%203%20Stormwater%20Management%202014.pdf>.
- David L.M.; Sousa P. (2008). *SUDS application in catchment retrofitting: suitability for the Lisbon rainfall pattern*. In Proc. of the 11th ICUD, Edinburgh, Scotland, UK, 10 p., CD ISBN 9781899796212.
- David L.M., Carvalho R.F., Isidro R., Sobral M. (2011). *Stormwater control of new urban developments – Planning and modelling the Penalva system*. In Proc. of 12th ICUD, Porto Alegre, Brazil, 8 p.
- Melbourne Water (2015). *Standards and specifications. Design - General. Chapters General approach to drainage systems and Floodway safety criteria*, <http://www.melbournewater.com.au/Planning-and-building/Standards-and-specifications/Design-general/Pages/design-general.aspx>.
- Nanía L., Gomez M. and Dolz J. (2002). *Analysis of risk associated to the urban runoff. Case study: City of Mendoza, Argentina*. In Global Solutions for Urban Drainage Proc. of 9th ICUD, Eric W. Strecker, Wayne C. Huber (eds.), ASCE, USA, doi: 10.1061/40644(2002)272.
- Shand T.D., Cox, R.J. and Blacka M.J. (2011). *Development of Appropriate Criteria for the Safety and Stability of Persons and Vehicles in Floods*. In Proc. 34th IAHR Conf. Brisbane, Australia, 9 p.

Woods-Ballard B., Wilson S., Udale-Clarke H., Illman S., Scott T., Ashley R. and Kellagher R. (2015). *The SUDS Manual*, CIRIA C753, London.

WMO (2009). *Integrated Flood Management: Concept Paper*. Associated Programme on Flood Management. World Meteorological Organization ISBN 978-92-63-11047-3, 32 p.





CNIM
Innovate and Act

OFERTA DO GRUPO CNIM PARA O SETOR DE AMBIENTE E ENERGIA

- Desenvolvimento de projeto
- Expertise
- Design e construção turnkey
- Fabricação de caldeiras
- Operação e manutenção
- Serviços

FORNECEDOR « CHAVE-NA-MÃO » DE TECNOLOGIA PARA DE PLANTAS DE RECUPERAÇÃO ENERGETICA DE RESIDUOS

Melhores técnicas disponíveis para

- Combustão de resíduos ou biomassa
- Recuperação energética
- Limpeza de gases de exaustão
- Produção de energia
- Recuperação de cinzas e metais

BENEFICIE DA EXPERIÊNCIA OPERACIONAL DA CNIM

- A CNIM converte em energia os resíduos de mais de 100 milhões de habitantes.

CNIM.COM

Instruções para a submissão de trabalhos

A revista Águas & Resíduos publica trabalhos com arbitragem científica em todas as áreas de engenharia sanitária e ambiental, designadamente, projetos de engenharia, trabalhos de ciência e tecnologia, política, gestão, economia, saúde, direito, sociologia e comunicação. Trabalhos sobre teses de doutoramento e mestrado, projetos de I&D&I (investigação, desenvolvimento e inovação) e projetos de implementação à escala real são particularmente encorajados.

As instruções para os autores e o template para a formatação estão disponíveis em http://publicacoes.apesb.org/biblioteca/submissao_trabalhos.html, onde deverá também fazer a submissão do trabalho. Na submissão deve incluir um texto com até 300 caracteres para inclusão no índice para, em complemento ao título, atrair o interesse dos leitores.

Outras informações e esclarecimentos adicionais podem ser solicitados a:

APESB

Av. Brasil 101 (LNEC/DHA/NES)
1700-066 Lisboa - PORTUGAL
E-mail: aguaseresiduos@apesb.org
Tel: +351 21 844 38 49

Instructions for submissions

The submissions to “Águas & Resíduos” are classified as “Papers” or “Technical Notes” (in principle, up to 8 pages or 4 pages, respectively). The decision about the submission will be taken by the Editors based on the evaluation of, at least, two reviewers.

The instructions for authors and the template for formatting the manuscripts may be downloaded from http://publicacoes.apesb.org/biblioteca/submissao_trabalhos.html, where the manuscript should also be submitted. With the submission, the author(s) should supply a text with up to 300 characters for insertion in the contents, after the title, to attract the readers interest.

For more information, please contact:

APESB

Av. Brasil 101 (LNEC/DHA/NES)
1700-066 Lisboa - PORTUGAL
E-mail: aguaseresiduos@apesb.org
Tel: +351 21 844 38 49

**Torne-se membro
da APESB aqui**

APESB

Av. Brasil 101 (LNEC/DHA/NES)

1700-066 Lisboa - PORTUGAL

E-mail: aguaseresiduos@apesb.org

Tel: +351 21 844 38 49



ÁGUAS&RESÍDUOS

Série IV n.º 4

Edição e Propriedade © APESB **Sede** Av. Brasil 101 (LNEC-DHA-NES) 1700-066 Lisboa **Editor** Maria João Rosa **Co-editores** Maria da Graça Lopes, Catarina Silva **Comissão Executiva** Paulo Ramísio, Maria do Céu Almeida, Lígia Costa Pinto, Maria da Graça Lopes **ISSN:** 2184-6049
DOI: 10.22181/aer.2019.04 **Data de Publicação** Julho 2019