

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**MODELO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO NA RECOLHA DE
RESÍDUOS URBANOS**

Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente

Júlia Barossi Vigo

Orientador: Prof.^o Doutor Carlos Afonso Teixeira

Coorientadora: Prof.^a Doutora Isabel Bentes



Vila Real, 2018

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**MODELO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO NA RECOLHA DE
RESÍDUOS URBANOS**

Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente

Júlia Barossi Vigo

Orientador: Prof.^o Doutor Carlos Afonso Teixeira

Coorientadora: Prof.^a Doutora Isabel Bentes

Composição do Júri:

Prof.^a Doutora Edna Carla Janeiro Cabecinha da Câmara Sampaio, professor auxiliar da Escola de Ciências da Vida e do Ambiente, da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Prof.^a Doutora Maria Cristina Sousa Coutinho de Calheiros e Menezes de Noronha Madureira, investigadora científica da Interdisciplinar Centre of Marine and Environmental Research.

Prof.^o Dr.^o Carlos Afonso de Moura Teixeira, professor auxiliar da Escola de Ciências da Vida e do Ambiente, da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Vila Real, 2018

Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, apresentada à Escola de Ciências da Vida e do Ambiente, da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, realizada sob a orientação do Professor Dr. Carlos Afonso Teixeira, Professor Auxiliar do Departamento de Biologia e Ambiente, e coorientação da Professora Isabel Oliveira Bentes, Professora Associada do Departamento de Engenharias, em conformidade com o Decreto-Lei n.º 216/92 de 13 de outubro. As doutrinas apresentadas são da exclusiva responsabilidade do autor.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de atravessar o oceano e aprender uma nova vida fora de casa.

Agradeço ao Prof.^o Doutor Carlos Teixeira e à Prof.^a Doutora Isabel Bentes, pela orientação e ajuda prestada durante a realização desta dissertação.

À minha família, especialmente a minha mãe, pela confiança, incentivo e apoio oferecido durante a realização deste trabalho.

A todos os meus amigos portugueses e brasileiros, que me acompanharam ao longo do meu percurso académico e que sempre me apoiaram, principalmente no período de desenvolvimento desta dissertação.

Título: Modelo de Apoio à Tomada de Decisão na Recolha de Resíduos Urbanos

RESUMO

Com o aumento da população ocorre o acréscimo da produção de resíduos urbanos (RU) e assim as exigências quanto aos sistemas de recolha, transporte e tratamento dos resíduos, acarretando maiores custos de serviço.

Os custos elevados associados aos impactes ambientais decorrentes da recolha e do transporte de RU, necessitam de uma avaliação de desempenho dos sistemas e da qualidade do serviço prestado, para que se assegurem os melhores desempenhos operacionais, económicos e ambientais.

O desenvolvimento de modelos de avaliação de desempenho fundamentados em indicadores de desempenho são ferramentas que podem ser aplicadas a um sistema de recolha de RU. Os indicadores podem ser fatores decisivos na tomada de decisão e na identificação de aspetos relevantes para a otimização do sistema, podendo melhorar a qualidade do serviço tornando melhor o desempenho do sistema de recolha.

Visualizando esta problemática, nesta dissertação, apresenta-se um modelo de avaliação para o serviço de recolha de RU, com base em um sistema de 12 indicadores operacionais, 1 económico e 1 ambiental.

De forma a testar e validar a metodologia, parte deste foi submetido à análise de um sistema de recolha de RU, do município de Figueira de Castelo Rodrigo. Os resultados obtidos no caso de estudo representam um contributo para o serviço de recolha de RU e para a tomada de decisão da entidade gestora sobre o sistema de recolha do município.

Palavras-chave: Resíduos Urbanos; Sistemas de Recolha de Resíduos Urbanos; Modelos de Avaliação de Desempenho; Indicadores de Desempenho.

Title: Decision Support Model in the Collection of Urban Waste

ABSTRACT

As a result of the increase in population, the increase in urban waste production (UW) increases the requirements for waste collection, transportation and treatment systems, leading to higher service costs. The high costs associated with environmental impacts together with the collection and transport of UW require an assessment of the performance of the systems and the quality of service provided to ensure the best operational, economic and environmental performance.

The development of performance evaluation models based on performance indicators are tools for evaluating the efficiency of a UW collection system. The indicators can be decisive factors in the decision making and in the identification of aspects relevant to the optimization of the system, being able to improve the quality of the service making the performance of the collection system decisive. Looking at this problem, this dissertation shows an evaluation model of the UW collection service, based on a system of 12 operational indicators, 1 economic and 1 environmental.

In order to test and validate the model, part of it was submitted to the analysis of a collection system of the municipality of Figueira de Castelo Rodrigo. The results obtained in the case study represent a contribution to the UW collection service and to the management entity's decision making about the collection system of the municipality.

Keywords: Urban Waste; Waste Collection and Transportation; Performance Evaluation Models; Performance Indicators.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE TABELAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE QUADROS	vi
TABELA DE EQUAÇÕES	vi
TABELA DE ACRÓNIMOS	viii
1. Introdução e objetivos.....	1
2. Gestão de resíduos sólidos	4
2.1. Tipos de Recolha.....	8
2.2. Equipamentos de Deposição	11
2.3. Equipamentos de Recolha	13
3. Dimensionamento e avaliação de desempenho da recolha de resíduos urbanos	16
3.1. Dimensionamento.....	17
3.1.1 Produção de Resíduos	17
3.1.2 Circuitos de recolha.....	21
3.1.3 Pontos de recolha.....	23
3.1.4 Equipamentos de Deposição	24
3.1.5 Viaturas de recolha.....	25
3.1.6 Frequência de recolha.....	27
3.1.7 Tempos e distâncias a considerar num circuito	28
3.2. Avaliação de desempenho	34
3.2.1 Informação de base.....	35
3.2.2 Variáveis de cálculo.....	36
3.2.2.1 Tempos e Distância Efetiva de Recolha	37
3.2.2.2 Tempo e Distância de Transporte	38
3.2.2.3 Tempo e Distância no Local de Deposição.....	39
3.2.2.4 Tempo e Distância Total de Recolha	41
3.2.2.5 Contentores Recolhidos	42
3.2.2.6 Consumo de combustível	43
3.2.2.7 Carga de resíduos	44
3.2.2.8 Número de Colaboradores	44
3.2.2.9 Número de Deposições.....	46
3.2.2.10 Massa Específica	46
3.2.2.11 Volumetria total instalada	46
3.2.2.12 Capacidade de recolha das viaturas	48
3.2.2.13 Variáveis económicas.....	49

3.2.3	Indicadores de desempenho	50
4.	Caso de Estudo Figueira de Castelo Rodrigo	55
4.1.	Descrição da Área de Estudo.....	55
4.2.	Metodologia	58
4.3.	Apresentação análise e discussão dos resultados	64
4.3.1	Determinação do número de contentores	64
4.3.2	Avaliação de desempenho no município de Figueira de Castelo Rodrigo	66
4.3.2.1	Recolha de dados de base.....	66
4.3.2.2	Determinação das variáveis de cálculo.....	68
4.3.2.3	Determinação dos Indicadores de Desempenho	68
4	CONCLUSÃO	71
	Bibliografia.....	74

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Grupos de resíduos, conforme a fonte geradora	8
Tabela 2: Grelha de análise dos resíduos urbanos (Portaria n.º 851/2009 de 7 de Agosto)	17
Tabela 3: Massa específica dos principais fluxos de resíduos urbanos	20
Tabela 4: Dados de caracterização geral dos circuitos	35
Tabela 5: Dados de caracterização de área de intervenção dos circuitos	35
Tabela 6: Dados de caracterização económica dos circuitos	36
Tabela 7: Dados de caracterização operacional dos circuitos.....	36
Tabela 8: Variáveis de cálculo	37
Tabela 9: Variáveis de cálculo económicas	49
Tabela 10: Indicadores de desempenho operacionais	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo esquemático de um circuito de recolha com uma recolha	22
Figura 2: Exemplo esquemático de um circuito de recolhas com diferentes recolhas.....	22
Figura 3: Exemplo esquemático de um circuito com uma deposição identificando TE e DE.....	30
Figura 4: Exemplo esquemático de um circuito com várias deposições identificando TE e DE	30
Figura 5: Exemplo esquemático de um circuito com uma deposições identificando Ttransp e Dtransp	31
Figura 6: Exemplo esquemático de um circuito com várias deposições identificando Ttransp e Dtransp	31
Figura 7: Exemplo esquemático de um circuito com uma deposições identificando TLd e DLd	32
Figura 8: Exemplo esquemático de um circuito com várias deposições identificando TLd e DLd	32
Figura 9: Exemplo esquemático de um circuito com várias deposições identificando TT e DT.	33
Figura 10: Exemplo esquemático de um circuito com várias deposições identificando TT e DT	33
Figura 11: Ficha de Campo da Recolha de Resíduos Urbanos	62

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Indicadores Operacionais determinados por Santos (2011).....	51
Quadro 2: Matriz Preliminar de Indicadores de Sustentabilidade de Coleta Seletiva – 1ª rodada Delphi (Adaptado Roberta (2014)).	52
Quadro 3: Indicadores de qualidade do serviço de gestão de resíduos sólidos urbanos (adaptado de ERSAR, 2012)	53
Quadro 4: Número de habitantes por localidade no município de Figueira de Castelo Rodrigo	55
Quadro 5: Serviço de recolha seletiva em Figueira de Castelo Rodrigo	57
Quadro 6: Serviço de recolha indiferenciada em Figueira de Castelo Rodrigo	57
Quadro 7: Número de habitantes por circuito do município de Figueira de Castelo Rodrigo	64
Quadro 8: Parâmetros determinados para o cálculo do número de contentores e a equação utilizada	65
Quadro 9: Comparação entre os contentores existentes em Figueira de Castelo Rodrigo e contentores determinados	65
Quadro 10: Dados de monitorização de recolha do município de Figueira de Castelo Rodrigo	67
Quadro 11: Média do tempo gasto, da distância percorrida e da quantidade de RU nos Circuitos 1, 2, 3 e 4 no município de Figueira de Castelo Rodrigo	68
Quadro 12: Indicadores de desempenho aplicados na validação da metodologia para o município de Figueira de Castelo Rodrigo.....	69
Quadro 13: Desempenho global dos circuitos de recolha de resíduos no município de Figueira de Castelo Rodrigo.....	69

TABELA DE EQUAÇÕES

Parâmetro determinado	Nº da Equação
Capitação	1
Capitação por alojamento	2
Capitação por edifício	3
Capitação por lugar	4
Produção de RU estimada	5
Volume total de RU produzidos	6
Volume acumulado de RU	7
Número de contentores	8
Número de ecopontos a recolher	9
Número máximo de contentores a cada recolha	10
Número de recolhas necessárias por localidade	11
Número de veículos/equipa	12
Volume não utilizado da viatura	13
Fator limite contentores	14
Fator limite viaturas	15
Frequência de recolha por semana	16
Tempo efetivo	17
Distância efetiva	18
Tempo de transporte	19
Distância de transporte	20

Tempo no local de deposição	21
Distância no local de deposição	22
Tempo até a garagem	23
Tempo total de recolha	24
Distância até a garagem	25
Distância total de recolha	26
Número de contentores recolhidos	27
Consumo de combustível	28
Quantidade de resíduos	29
Cenário 1 e 2 – Número de operários	30
Cenário 3 e 4 – Número de operários	31
Cenário 1 - Volumetria total instalada	32
Cenário 1 - Volumetria total instalada na deposição 1	33
Cenário 2 - Volumetria total instalada	34
Cenário 2 - Volumetria total instalada na deposição n	35
Cenário 3 - Volumetria total instalada	36
Cenário 3 - Volumetria total instalada na recolha 1	37
Cenário 4 - Volumetria total instalada	38
Cenário 4 - Volumetria total instalada na recolha n	39
Cenário 1 e 2 - Capacidade de recolha das viaturas	40
Cenário 3 e 4 - Capacidade de recolha das viaturas	41
Tempo efetivo de recolha	42
Tempo total de recolha	43
Tempo de deslocação entre contentores	44
Distância efetiva de recolha	45
Distância total de recolha	46
Distância de transporte e carga	47
Consumo de combustível	48
Velocidade efectiva de recolha	49
Velocidade não produtiva	50
Produtividade da equipa de recolha	51
Fator de utilização dos contentores	52
Fator de utilização das viaturas	53
Custo unitário da recolha	54
Quantidade de CO ₂ emitido	55
Emissão de CO ₂	56

TABELA DE ACRÓNIMOS

Acronímico	Significado	Unidade
I	Dia (varia de 1 a D)	-
J	Deposição (varia de 1 a Ti), onde Ti representa o número máximo de deposições de determinada recolha	-
C	Número de contentores	cont.dia ⁻¹ .aloj ⁻¹
Cap	Quantidade de resíduos produzidos por habitante em unidade de tempo	kg.hab ⁻¹ .dia ⁻¹
Cap.Aloj	Quantidade de resíduos produzidos por alojamento em unidade de tempo	kg.aloj ⁻¹ .dia ⁻¹
Cap.Edif	Quantidade de resíduos produzidos por edifício em unidade de tempo	kg.edif ⁻¹ .dia ⁻¹
Cap.Lugar	Quantidade de resíduos produzidos por lugar em unidade de tempo	kg.lugar ⁻¹ .dia ⁻¹
CC	Consumo de combustível	L ou m ³
Cci	Consumo de combustível da viatura no circuito do dia i	-
Cf	Composição física do componente, podendo variar por cidade/zona	%
CR	Capacidade de recolha das viaturas	m ³
CRR	Capacidade de recolha das viaturas na recolha n	m ³
CRR ₁	Capacidade de recolha das viaturas na recolha 1	m ³
CV	Capacidade do volume útil (volume da caixa do veículo + taxa de compactação)	m ³ .viatura ⁻¹ .recolha ⁻¹
D	Número máximo de recolhas	recolhas
DE	Distância efetiva	km
Deij	distância entre o 1º e o último ponto de recolha antes de uma deposição j, no dia i.	km
DG	Distância da garagem	km
Dgi	Distância que a viatura percorre da garagem ao 1º ponto de recolha e do local da deposição até à garagem, no dia i	km
DLd	Distância no local de deposição	km
DLDij	Distância que a viatura percorre desde que entra até que sai do local de deposição, na deposição j, no dia i;	km
DT	DT: distância total de recolha	km
Dtij	Distância entre o último ponto de recolha da deposição b e a entrada no local de deposição mais a distância entre o local de deposição e o 1º ponto de recolha da deposição j+1, no dia i	km
Dtransp	Distância de transporte	km
E1	Quantidade de edifícios em uma localidade	edif.lugar ⁻¹
E2	Quantidade de alojamentos em um edifício	aloj.edif ⁻¹
Edif	Quantidade de edifícios	edifícios
F	Fator de utilização dos contentores/ecopontos	Normalmente utiliza-se 0,8%
Fc	Combustível do tipo i consumido (t) (no caso do gasóleo deverá multiplicar os litros pelo fator de conversão (FC) 0,835x10 ⁻³ e no caso do GNC deverá multiplicar os m ³ pelo fator de conversão (FC) 0,84x10 ⁻³)	-
Fet	fator de emissão de CO ₂ (kg CO ₂ .GJ ⁻¹) (74 no caso do gasóleo e 64,1 no caso do GNC)	-
FR	Frequência de recolha	recolha.dia ⁻¹
H1	Habitantes por alojamento	hab.aloj ⁻¹
H2	Habitantes por edifício	hab.edif ⁻¹

Hab	Habitantes que produzem resíduos	habitantes
T	Tipo de combustível utilizado	gasolina, gasóleo ou GNC
K	Categoria do resíduo (indiferenciado, plástico, metal, papel/cartão e vidro)	-
N	Número de contentores	unidade
R	Número de recolhas	recolha
NCM	Número médio equivalente de assistentes operacionais (cantoneiros e motoristas) a tempo integral afetos por circuito	ope.circ ⁻¹
NcantR	Número de cantoneiros utilizados na recolha n	unidade
Ncabn	Número de contentores n recolhidos no dia a na deposição b	-
NCT	Número de contentores do tipo n	contentores
NDTa	Número máximo de contentores recolhidos numa determinada deposição	unidade
NE	Número de ecopontos a recolher	ecopontos.dia ⁻¹ .lugar ⁻¹
NMC	Número máximo de contentores a cada recolha	cont.veículo ⁻¹ .recolha ⁻¹
NmotR	Número de motoristas utilizados na recolha n	unidade
NO	Número de operários	unidade
NP	Número de pontos de recolha	recolha
NR	Número de recolhas necessárias por localidade	recolha
NRD	Número de recolhas diárias por veículo/equipa	recolha. veículo ⁻¹
NV	Número de veículo/equipa	veículo
Pclt	Poder calorífico inferior do combustível do tipo t (GJ.t ⁻¹) (no caso do gasóleo deverá ser assumido o valor 43,3 e no caso do gás natural 45,1); 0,99: fração oxidável de carbono no combustível	-
P	Massa específica; Quantidade de resíduos contida na unidade de volume	kg.m ⁻³
PR1	Primeiro ponto de recolha	-
PRn	Último ponto de recolha	-
PRU	Quantidade de resíduos produzidos	ton ou kg
QR	Quantidade de resíduos	ton ou kg
T	Unidade temporal para a produção de resíduos	dia, semana, mês, ano
TA	Taxa de Adesão, cooperação da população na separação dos resíduos recicláveis	%
TC	Taxa de Captura, resíduo que vai para o contentor correto	%
TE	Tempo efetivo de recolha	h
Teij	tempo entre o 1º e o último ponto de recolha + o tempo de esvaziamento dos contentores, antes de uma deposição j, no dia i	h
TG	Tempo de e para a garagem	h
Ti	Tempo inicial de saída da garagem	h
TLd	Tempo de deposição	h
Tldij	Tempo que a viatura demora desde que entra até que sai do local de deposição, na deposição j, no dia i	h
TT	Tempo total de recolha	h
TT _{ij}	Tempo entre o último ponto de recolha da deposição b e a entrada no local de deposição + o tempo entre o local de deposição e o 1º ponto de recolha da deposição j + 1, no dia i	h
Ttransp	Tempo de transporte da recolha	h
V	Volume total de RU produzidos	m ³

VA	Volume acumulado de RU nos conteores	$m^3 \cdot aloj^{-1} \cdot dia^{-1}$
VC	Volume unitário dos contentores	$m^3 \cdot cont^{-1}$
VCT	Volume dos contentores tipo n	m^3
VE	Volume unitário dos ecopontos	$m^3 \cdot ecoponto^{-1}$
VNU	Volume não utilizado da viatura (circuito/dia)	m^3
VT	Volumetria total instalada	m^3
VTD	Volumetria total instalada na deposição	m^3
VTR	Volumetria total instalada na recolha n	m^3

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Nos dias atuais, a gestão de resíduos é consequência do crescimento populacional aliado ao crescimento da economia, resultando em um aumento da produção de resíduos urbanos (RU). Deve-se preconizar a redução dos resíduos sólidos na fonte, visando a diminuição para a o destino final (aterro sanitário, incineração,...), com a finalidade de preservar o meio ambiente e a saúde pública. Para que se inicie esta mudança, deve-se levar em consideração o comportamento/hábito dos cidadãos e da sociedade moderna, em relação ao consumismo, concretizando um grande desafio ambiental para a sociedade (Malinauskaite, J., 2017).

A recolha de resíduos urbanos (RU) é uma fase importante e imprescindível da gestão de resíduos pois interfere na qualidade de vida da população incluindo a saúde pública (Huang, 2011). Além disto, é uma das etapas mais onerosas da gestão de resíduos, onde se incluem diversos custos associados à aquisição de veículos, aos recursos humanos, ao consumo de combustível e manutenção de frotas.

O aumento continuado da produção de resíduos, da dispersão urbana e dos preços do combustível são fatores que obrigam à redução das despesas públicas, agravam o estado económico das autarquias e das empresas do sector. Além da agravante ambiental, etapa que possui ainda um impacte significativo devido às emissões de gases do efeito de estufa (GEE), provenientes dos elevados consumos de combustível dos veículos que efetuam a recolha bem como das elevadas distâncias por eles percorridas. Um bom dimensionamento da recolha de resíduos é vital para reduzir os custos operacionais e as emissões dos veículos (Puche, 2018). A eficiência operacional associada à recolha de resíduos urbanos, é uma preocupação dos organismos ambientais de todo o mundo (Huang, 2011).

Existem quatro pilares que sustentam a eficiência da gestão de resíduos, o económico, o ambiental, o técnico e o social.

A avaliação de sistemas de recolha de resíduos urbanos permite conhecer e explorar os pontos positivos e negativos dos sistemas em funcionamento

identificando potenciais erros e permitindo melhorar ou corrigir os pontos menos eficientes.

Para se avaliar a eficiência na recolha podem utilizar-se os indicadores de desempenho, operacionais, económicos, ambientais e sociais.

A utilização de indicadores tem como vantagem a capacidade de sintetizar informação, identificando os parâmetros e as variáveis mais importantes e significativas. A sua utilização como instrumento fornecedor de informação é importante para avaliação de alternativas e decisões de linhas de ação. (Partidário, 2000).

A presente dissertação tem como objetivos:

- Fazer uma revisão sobre a gestão de resíduos sólidos, o seu dimensionamento e a sua avaliação de desempenho;
- Desenvolver uma metodologia que permita realizar a avaliação da qualidade do serviço de recolha através de um sistema de indicadores de desempenho;
- Fazer a aplicação, a um caso de estudo, de alguns critérios de dimensionamento, nomeadamente, a determinação do número de contentores e a avaliação de desempenho do sistema através de indicadores de desempenho. O caso de estudo foca-se no concelho de Figueira de Castelo Rodrigo.

A presente dissertação apresenta-se organizada da seguinte forma:

No Capítulo 1, mostra-se a relevância do tema em estudo e são definidos os objetivos desta dissertação.

No Capítulo 2, denominado por Gestão de Resíduos, faz-se uma revisão dos principais aspetos relacionados com a gestão de resíduos. Abordam-se os diferentes tipos de recolha e transporte de RU, enumerando os diferentes tipos de equipamentos de deposição e de recolha.

O Capítulo 3 denominado de dimensionamento e avaliação da recolha de RU subdivide-se em partes. A primeira parte mostra a forma de determinar os dados sobre: a produção de resíduos, os circuitos, as frequências e os pontos de recolha, equipamentos de deposição e tempos entre as recolhas, elementos essenciais para alimentar o dimensionamento. A segunda parte apresenta os dados de base e as variáveis de cálculo necessárias para uma avaliação de desempenho num sistema de recolha de RU. Apresenta-se a temática da

avaliação de desempenho de circuitos de recolha por meio de indicadores de desempenho, refere-se ainda a aplicação prática de indicadores de desempenho em trabalhos desenvolvidos por outros autores

No Capítulo 4 realiza-se um caso de estudo do município de Figueira de Castelo Rodrigo, onde propõe-se a aplicação de parte da metodologia proposta no Capítulo 3 para a determinação do número de contentores existentes. Realiza-se uma avaliação de desempenho do sistema de recolha de resíduos do município, através do desenvolvimento de indicadores de desempenho operacionais, um económico e um ambiental. Para determinar esses indicadores desenvolveu-se uma Ficha de Campo para recolher os dados de base relativos aos circuitos de recolha de RU, com os quais se determinaram as variáveis de cálculo e posteriormente os indicadores.

No Capítulo 5 denominado Conclusão realiza-se a análise e discussão da relevância da metodologia e sua aplicação. Aborda-se a importância deste trabalho para o setor de recolha de resíduos e as conclusões mais relevantes do estudo. E, por último, destaca-se a importância desta dissertação como documento de apoio a trabalhos futuros.

2. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), a gestão de resíduos entende-se como um conjunto das atividades de caráter administrativo, técnico e financeiro necessárias à deposição, recolha, transporte, tratamento, valorização e eliminação dos resíduos, incluindo o planeamento e a fiscalização dessas operações, bem como a monitorização dos locais de destino final, depois de se proceder ao seu encerramento. Um Sistema de Gestão de Resíduos é um conjunto de equipamentos e operações associadas que são implementados com o objetivo de garantir um destino final adequado aos resíduos produzidos pela população de um ou mais aglomerados populacionais.

Neste capítulo está apresentado conceitos técnicos e teóricos sobre a gestão de resíduos em Portugal. Este capítulo, divide-se nas seguintes temáticas: tipologias de recolha de resíduos, equipamentos de deposição dos resíduos e equipamentos de transporte para implementação de um sistema de recolha.

Em Portugal, até 1996, a realização da gestão dos resíduos sólidos urbanos era realizada pelas Câmaras Municipais, compreendendo a recolha e deposição, sem haver nenhum tipo de triagem dos resíduos. Os resíduos produzidos, pela população, pelas indústrias e pelos hospitais, eram encaminhados para lixões, depositados diretamente sobre o solo, sem nenhuma camada de impermeabilização. Seguidamente eram queimados para que seu volume fosse reduzido. Não havia nenhum controle, quer a nível ambiental quer a nível de saúde pública.

Em 1997, a gestão dos resíduos sólidos urbanos foi alterada com a aprovação do Plano Estratégico Setorial dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU I), prevendo a implementação de ações fundamentais para o desenvolvimento da gestão de resíduos na Europa. O objetivo principal do PERSU I era definir um plano estratégico para os resíduos produzidos em Portugal, que continha orientações para a prevenção, o tratamento, a educação, a reciclagem, a gestão, a exploração e a monitorização dos resíduos, a ser implementadas entre 1997 e 2005.

Em 2007 foi aprovado o Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU II), como sendo a continuidade do PERSU I, tendo como objetivo servir

de referencial para a gestão de resíduos sólidos urbanos até 2016. Tinha em consideração exigências formuladas a nível nacional e comunitário, assegurando, o cumprimento de objetivos comunitários, tendo em consideração que se deveria retirar os resíduos urbanos biodegradáveis de aterro e de reciclagem e a valorização das embalagens de resíduos.

No ano de 2013 foi aprovado o 7.º Programa de Ação em Matéria de Ambiente da União Europeia, intitulado como “Viver bem, dentro dos limites do nosso planeta”, que guia, a política de ambiente na Europa no período entre 2014 e 2020 e que, entre as suas diferentes prioridades temáticas, tem como objetivos incentivar um crescimento sustentável, com baixo teor de carbono mais eficiente na utilização dos recursos.

O Plano Nacional de Gestão de Resíduos (PNGR 2014-2020) é o instrumento de planeamento que estabelece as orientações macro da política de resíduos em Portugal. Este plano surge na sequência do estabelecido no Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de setembro, alterado pelos Decretos-Leis n.º 73/2011, de 17 de junho, n.º 67/2014, de 7 de maio e n.º 165/2014, de 5 de novembro, estabelece o regime geral aplicável à prevenção, produção e gestão de resíduos, que transpõe a Diretiva n.º 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro de 2008 (Diretiva Quadro Resíduos), que veio estabelecer a obrigação de os Estados-Membros elaborarem planos de gestão de resíduos, que isoladamente ou articulados entre si, devem abranger todo o território geográfico do Estado-Membro em causa.

O PNGR estabelece as orientações estratégicas, de âmbito nacional, de prevenção e gestão de resíduos para o horizonte 2014-2020, prossequindo o cumprimento da legislação comunitária e nacional e engloba o Programa de Prevenção de Resíduos.

De acordo com a Diretiva n.º. 2008/98/CE de 19 de dezembro, do Parlamento Europeu e do Conselho e transposto pelo Decreto-Lei n.º. 73/2011 de 17 de junho, resíduos são definidos como quaisquer substâncias ou objetos de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou obrigação de se desfazer e resíduo urbano (RU) como o resíduo proveniente de habitações, bem como outro resíduo que, pela sua natureza ou composição, seja semelhante ao resíduo proveniente de habitações.

Ainda de acordo com a Diretiva nº. 2008/98/CE de 19 de dezembro, do Parlamento Europeu e do Conselho e transposto pelo Decreto-Lei nº. 73/2011 de 17 de junho, define-se:

Recolha de Resíduos: operação de apanha, triagem e/ou mistura de resíduos, com vista aos seu transporte;

Recolha Indiferenciada: recolha de resíduos misturados entre si, sendo transportados para uma estação de transferência ou então directamente para o destino final.

Recolha Seletiva: recolha especial de resíduos que são objeto de deposição separada por parte do detentor, com a finalidade de serem reciclados (Ex.: os vidrões e os denominados "ecopontos");

Transporte: transporte dos resíduos até à sua deposição em instalações específicas;

Os resíduos procedem de diversas áreas específicas de atividade, nomeadamente agrícola, hospitalar, urbana, e, ou simplesmente de processos produtivos. Conforme Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho, alguns destes resíduos são classificados como resíduos perigosos. De seguida apresenta-se a definição de cada tipo de resíduo:

Agrícola: proveniente de exploração agrícola e ou pecuária ou similar;

Hospitalar: resultantes de atividades de prestação de cuidados de saúde a seres humanos ou a animais, nas áreas da prevenção, diagnóstico, tratamento, reabilitação ou investigação e ensino, bem como de outras actividades envolvendo procedimentos invasivos, tais como acupunctura, piercings e tatuagens;

Industrial: gerados em processos produtivos industriais, bem como os que resultem das atividades de produção e distribuição de eletricidade, gás e água;

Urbano: proveniente de habitações bem como outro resíduo que, pela sua natureza ou composição, seja semelhante ao resíduo proveniente de habitações;

Perigoso: apresentam uma ou mais das características comburentes, explosivas ou facilmente inflamáveis.

Anualmente são gerados produtos com potencial de mercado no âmbito dos fluxos específicos de resíduos. O planeamento destes fluxos deve considerar os requisitos estabelecidos no regime jurídico da gestão de resíduos e na legislação

relativa a fluxos específicos, que obriga os produtores a proceder à sua separação na origem de forma a promover a sua valorização por fluxos e fileiras. A gestão destes fluxos deve assegurar o registo e o armazenamento de dados relativos a produção quer de resíduos quer de produtos colocados no mercado de modo a assegurar a transmissão e consulta de informação sobre a matéria. Em sequência apresenta-se algumas definições de fluxos específicos de resíduos segundo o decreto-lei n.º 178/2006 de 5 de setembro que aprova o regime geral da gestão de resíduos em Portugal (RGGR):

Biorresíduos: biodegradáveis de espaços verdes, nomeadamente os de jardins, parques, campos desportivos, bem como os resíduos biodegradáveis alimentares e de cozinha das habitações, das unidades de fornecimento de refeições e de retalho e os resíduos similares das unidades de transformação de alimentos;

Construção e demolição: proveniente de obras de construção, reconstrução, ampliação, alteração, conservação e demolição e da derrocada de edificações;

Embalagens e Resíduos de Embalagens: todos e quaisquer produtos feitos de materiais de qualquer natureza utilizados para conter, proteger, movimentar, manusear, entregar e apresentar mercadorias, tanto matérias-primas como produtos transformados, desde o produtor ao utilizador ou consumidor, incluindo todos os artigos "descartáveis" utilizados para os mesmos fins;

Resíduos de Equipamento Elétrico e Eletrónico: os equipamentos dependentes de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos para funcionarem corretamente, bem como os equipamentos para geração, transferência e medição dessas correntes e campos, e concebidos para utilização com uma tensão nominal não superior a 1 000 V para corrente alternada e 1 500 V para corrente contínua; (Decreto-Lei n.º 67/2014, de 7 de maio);

Óleos Alimentares Usados: óleos ou mistura de dois ou mais óleos destinados à alimentação humana (Decreto-Lei n.º 267/2009 de 29 de Setembro);

Pilhas e Acumuladores: independentemente da sua forma, peso, materiais constituintes ou utilização. (Decreto-Lei n.º 173/2015, de 25 de agosto).

De acordo com a natureza e as propriedades físicas e químicas dos resíduos sólidos assim se faz a sua classificação. Conhecendo a fonte geradora dos resíduos sólidos e a sua natureza, pode-se quantificar e analisar as melhores

conclusões para a recolha, tratatamento e eliminação. Podem ser agrupados de acordo com a sua fonte, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Grupos de resíduos, conforme a fonte geradora

FONTE	TIPO	EXEMPLO
DOMÉSTICOS	NÃO PERIGOSOS	Papéis; jornais Embalagens de plástico e de metal Restos alimentares; resíduos de jardinagem
	PERIGOSOS	Pilhas; baterias; lâmpadas fluorescentes
COMÉRCIO E SERVIÇOS	NÃO PERIGOSOS	Hotéis e restaurantes: Restos de comida Supermercados e lojas: Embalagens de cartão Escritórios/Serviços administrativos: Papéis
PÚBLICO	NÃO PERIGOSOS	Varrimento de ruas e áreas de uso público: Papéis, putrescíveis, plásticos, excrementos animais Recolha de entulhos de obras: Inertes Mercados: Resíduos verdes e alimentares
INDÚSTRIAL	NÃO PERIGOSOS	Têxtil/Calçado: Restos tecidos, couro, borracha, filme e cartão. Alimentar: orgânicos putrescíveis
	PERIGOSOS	Regeneração de óleos; processos hidrometalúrgicos de metais não ferrosos Indústria electrónica; resíduos contendo mercúrio
HOSPITALAR	NÃO PERIGOSOS	Papéis usados; restos alimentares. Resíduos não contaminados e sem vestígios de sangue
	PERIGOSOS	Contaminados ou suspeitos de contaminação Resíduos de incineração obrigatória

2.1. Tipos de Recolha

O sistema de recolha de RU inicia-se com a deposição, fase em que acontece a armazenagem no domicílio e a colocação do resíduo em recipientes adequados para serem removidos. A remoção é efetuada por pessoal com equipamentos adequados, sequencialmente a transferência dos resíduos dos recipientes para as viaturas onde ocorre a última operação que é o seu transporte, até o destino final dos resíduos sólidos, que pode ser aterro sanitário, incineração,

Conforme o tipo de resíduos a recolha é designada de indiferenciada ou seletiva. Na recolha indiferenciada os RU são depositados e recolhidos como uma mistura de resíduos de várias naturezas e na recolha seletiva há separação de resíduos de várias naturezas na fonte ou na triagem.

A recolha seletiva de RU contribui para a taxa de reciclagem e o desenvolvimento de mercados de matérias-primas secundárias com base nos

resíduos separados, que podem ser de elevada qualidade.

Os fatores condicionantes para a atividade de recolha são (Martinho e Gonçalves, 2000): Volume de resíduos: depende da tipologia do resíduo a recolher e influencia a sua frequência de recolha; Tipo de resíduos: podem ser indiferenciados ou de recolha seletiva, o que afeta o equipamento de deposição e de transporte; Densidade populacional: influi de forma direta a frequência de recolha; Tipo de habitação e de urbanização: além de influenciar a frequência de recolha, afeta também os equipamentos de alocação; Características funcionais da área a servir (como por exemplo, zonas históricas, moradias, entre outras).

Em Portugal, o sistema de recolha seletiva mais generalizado é o sistema de recolha seletiva trifluxe, ou seja, deposição normalmente em contentores separados para:

PAPEL/CARTÃO Contentor azul	VIDRO Contentor verde	EMBALAGENS DE PLÁSTICO/METAL Contentor amarelo
--------------------------------	--------------------------	--

Os resíduos provenientes da recolha seletiva são transportados para os ecocentros, onde se aceitam também outro tipo de resíduos separados, normalmente de maiores dimensões como resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos, resíduos volumosos, madeiras, etc.

Os três tipos de recolha de resíduos mais utilizados em Portugal são: porta-a-porta, por pontos coletivos e mista.

Para os resíduos indiferenciados utiliza-se contentores geralmente de cor cinza, os resíduos são recolhidos e transportados para o destino e tratamento final.

Recolha Porta-a-Porta

A recolha porta-a-porta caracteriza-se normalmente por uma recolha baseada em equipamentos de deposição descartáveis como os sacos de plástico, embora possa ser realizada por via da distribuição de contentores (contentores normalmente de pequenas dimensões que são distribuídos em número que é em função dos agregados familiares) aos utentes/utilizadores que se

responsabilizam pela colocação desses contentores na via pública no horário de recolha, os utilizadores também se responsabilizam pela sua manutenção incluindo limpeza. A recolha porta-a-porta pode ser individual, quando se trate de habitação unifamiliar, ou coletiva, quando se trata de um prédio (Levy e Cabeças, 2006).

Recolha por Pontos Coletivos

Na recolha por pontos coletivos (ecopontos) é necessário realizar um estudo para calcular os pontos necessários onde instalar um ou mais contentores de utilização coletiva, onde os utentes possam depositar os resíduos produzidos. Neste tipo de recolha os contentores são normalmente de média e grande capacidades e servem mais do que uma habitação ou prédio (Levy e Cabeças, 2006).

Os ecopontos, a população tem de se deslocar até um determinado ponto da via pública onde estão localizados os contentores destinados à deposição dos resíduos recicláveis. Este sistema tem a vantagem de necessitar de menos recursos na recolha dos resíduos que o porta a porta, no entanto não é tão cómodo para a população por exigir uma maior esforço de deposição.

Existem ainda os ecocentros, local onde se recebem os resíduos com potencial para serem reciclados mas que no entanto não são abrangidos pelos sistemas de recolha seletiva convencionais disponibilizados pelas cidades (Martinho, 2005).

Recolha Mista

Na recolha mista junta-se a recolha porta-a-porta e a recolha por pontos coletivos, simultaneamente, isto acontece em casos em que há zonas menos densas e zonas mais densas próximas (Levy e Cabeças, 2006).

2.2. Equipamentos de Deposição

A deposição é o conjunto de operações envolvendo a armazenagem domiciliária de RU, e a sua colocação em recipientes, em condições de serem removidos. Num sistema de recolha de resíduos seja recolha indiferenciada ou recolha seletiva a escolha dos equipamentos de deposição é determinante para o planeamento e dimensionamento do próprio sistema. A seleção do sistema de remoção, por recolha porta-a-porta, por pontos coletivos, ou mista, tem associado a escolha do tipo de recipientes.

De acordo com Teixeira (2010), a escolha do sistema de deposição a adotar depende de vários fatores, nomeadamente do volume e tipo de resíduos a recolher, do tipo de tratamento, valorização ou eliminação que se pretende para os resíduos, do clima, dos aspetos geográficos, do tipo de urbanização e habitação, da densidade populacional, da rapidez de recolha e da distância e do tipo de recipientes e viaturas a utilizar, as atitudes e as características dos produtores de RU e os recursos financeiros disponíveis.

Existem variados tipos de equipamentos de deposição e de transporte de resíduos que se adequam aos diferentes sistemas de recolha e que se apresentam seguidamente. Os equipamentos de deposição/condicionamento de resíduos são muito variados na sua tipologia agrupando-se em duas grandes categorias, os equipamentos descartáveis e os equipamentos de utilização prolongada ou permanente.

Recipientes Descartáveis

Os recipientes descartáveis são recipientes de tara perdida, normalmente sacos de plástico ou de papel que podem possuir diferentes dimensões, cores, espessuras e formas e que são adequados aos sistemas de recolha porta-a-porta.

Este tipo de recipientes tem vantagens na operação de recolha, pois o tempo despendido no seu levantamento é normalmente inferior a outros tipos de recipientes em que é necessário descarregar e voltar a colocar os recipientes no ponto de recolha, dispensam também a lavagem e proteção do recipiente, a

sua recolha não produz o ruído típico da deposição de contentores e evitam a absorção de água da chuva. Por outro lado têm inconvenientes em termos ambientais, grande número de sacos utilizados e em termos económicos quando o seu custo é assumido pela entidade responsável pelo sistema de recolha de resíduos.

Quando o sistema de recolha é porta-a-porta baseado na recolha em sacos de plástico verificam-se os constrangimentos associados à destruição dos sacos por animais e vazamento para a via pública dos resíduos com disseminação de odores e sujidade que implicará medidas adicionais de limpeza urbana.

Contentores Superfície

Os contentores de superfície comumente utilizados na recolha de resíduos são maioritariamente de plástico existindo ainda alguns metálicos. Os contentores plásticos possuem as vantagens de serem de manuseamento mais fácil em termos operacionais, são mais leves e menos ruidosos e possuem paredes internas lisas o que permite uma limpeza mais facilitada, no entanto são menos resistentes e facilmente são queimados/destruídos. Os contentores metálicos apesar de uma durabilidade maior do que os plásticos, pois são mais robustos e resistentes a incêndios, normalmente são mais difíceis de manusear uma vez que são mais pesados, ruidosos e mais difíceis de limpar e têm também como inconveniente o facto de as tampas facilmente empenarem o que não garante a sua estanquicidade em termos de odores.

Existe uma panóplia de dimensões sendo as mais frequentes de 90, 120, 240, 800 e 1.100 litros. Os contentores de dimensões 90, 120 e 240 litros são mais frequentemente utilizados para recolha porta-a-porta, recolha em zonas de habitação unifamiliar, de baixa densidade populacional, com acessibilidades difíceis ou em situações particulares de comércio e pequena indústria ou serviços.

Os contentores de 800 e 1.100 litros de capacidade são mais comumente utilizados em sistemas de recolha por pontos, normalmente variam em termos do sistema de abertura que pode ser basculante ou não e podem ser adaptados a viaturas de carga traseira ou viaturas de carga lateral, sendo que, no caso do

sistema de recolha por carga lateral, também se utilizam contentores de superfície de capacidade de 2.400 e 3.200 litros.

No caso da recolha seletiva os contentores de superfície mais utilizados são normalmente de dimensão de 2.500 litros em conjuntos de 3 unidades, um para cada um dos tipos de material a depositar e com a cor de cada material identificada para facilitar na deposição.

Contentores Enterrados

Os contentores enterrados têm evoluído muito nos últimos anos, iniciaram com os tradicionais “molock”, contentores enterrados, modernos e efetivos para o armazenamento de resíduos, ainda muito usados, havendo atualmente sistemas enterrados de variadas tipologias adaptados a recolha por carga traseira e carga lateral com sistema de abertura das bocas com pedal. São contentores normalmente de capacidades superiores aos de superfície.

Os contentores enterrados evitam o impacto visual normalmente associado aos contentores de superfície isolados ou em baterias de contentores. São facilmente enquadráveis em termos estéticos e de ordenamento. Normalmente são de elevadas capacidades que variam entre 1.100 e 5.000 litros.

Os contentores enterrados de recolha seletiva têm capacidades que variam entre 2.500 e 5.000 litros, a maioria elevados hidraulicamente ou com recurso a guias.

2.3. Equipamentos de Recolha

A operação de recolha é efetuada por pessoal e equipamento especialmente adequado para esse fim, mediante a transferência dos RU, incluindo ou não os recipientes, para as viaturas de recolha.

No processo de recolha, as viaturas deslocam-se desde a garagem até à zona de recolha para realizar a recolha dos RU, deslocando-se, assim que a viatura atinja a sua capacidade de carga, para o local de deposição para proceder à descarga do veículo. Aquando da saída do local de deposição, a viatura de

recolha pode regressar à garagem, caso o circuito esteja terminado, ou seja, a totalidade dos RU da zona definida para o circuito tenham sido recolhidos, ou então, essa mesma viatura poderá ter que regressar novamente à zona de recolha para proceder à recolha dos restantes RU ainda existentes nessa zona. A viatura quando chega ao primeiro equipamento de deposição a recolher, começa a recolher resíduos efetuando paragens em cada ponto de recolha, que pode conter mais do que um contentor. Esta fase operacional da recolha e transporte de RU envolve os fatores tempo e distância, tempos despendidos e distâncias percorridas que se traduzem em custos e emissões gasosas para a atmosfera. Logo, é necessária uma gestão eficiente desta fase, de forma a minimizar os custos e os impactes ambientais inerentes a este serviço.

As características dos veículos de recolha e transporte dos RU pode variar bastante mas deverão cumprir os seguintes requisitos (Martinho e Gonçalves, 2000; Levy e Cabeças, 2006):

- Serem estanques, não permitirem derramamento dos resíduos nem escorrecias;
- Serem de fácil manutenção e lavagem;
- Terem uma altura de carregamento máxima de 1,20 m;
- Possibilitarem o carregamento de diferentes tipos de equipamentos/contentores;
- Distribuírem a carga uniformemente pelos eixos;
- Apresentarem um volume de carga adequado ao circuito de recolha, para reduzir o número de deslocações entre locais;
- Cumprirem as normas ambientais e de segurança.

As viaturas de recolha podem classificar-se de acordo com o método de deposição, o tipo de sistema de elevação dos contentores e o sistema de transferência dos resíduos da tremonha de receção para o interior da caixa.

A recolha de resíduos pode-se realizar recorrendo a diferentes tipologias de viaturas:

- **Viaturas de caixa aberta:** os recipientes de deposição dos resíduos são descarregados diretamente para o interior da viatura de recolha;

- **Viaturas herméticas:** utilizam-se veículos de caixa fechada com sistemas de abertura adaptados à tipologia dos contentores a descarregar.

As viaturas herméticas podem se classificar em:

- **Carga traseira:** os resíduos são colocados na parte traseira da viatura, na tremonha de carga, quer através do sistema hidráulico quer manualmente;
- **Carga lateral:** os contentores são descarregados através da aproximação da viatura, cujo automatismo lateral levanta e descarrega o contentor. Neste tipo de remoção os recursos humanos necessários são apenas o motorista;
- **Carga frontal:** a carga é feita na frente da viatura. É um sistema muito pouco utilizado.

Na remoção hermética as viaturas de recolha podem reduzir o volume dos RU em cerca de 3 vezes, ou seja, ter uma taxa de compactação de 3:1. Os RU são colocados na tremonha de receção e são transferidos para o interior da caixa mecanicamente, por compactação contínua – através de um cilindro Circuitotivo ou por compactação alternada – os resíduos são transferidos e também compactados por comando do operador/cantoneiro, sempre que a tremonha de carga esteja cheia sendo a alimentação da tremomha suspensa durante a operação de compactação (Martinho e Gonçalves, 2000).

Existem também os sistemas de remoção através de viaturas do tipo *Multibenne* e *Movibenne*, com e sem grua, para recolha de contentores e/ou compactadores de maiores dimensões.

3. DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA RECOLHA DE RESÍDUOS URBANOS

Para se proceder o dimensionamento de um sistema de recolha de resíduos urbanos de uma determinada região é indispensável ter conhecimento sobre diversos dados, deles destacam-se: população, produção de resíduos, dados sociais, geográficos e topográficos. A partir destes dados, pode-se iniciar o dimensionamento de circuitos de recolha, definindo pontos de recolha, equipamentos de deposição, viaturas de recolha e frequências de recolha.

A recolha de resíduos urbanos integra um conjunto de variáveis, dentre elas destacam-se o tempo e a distância utilizados para essa atividade. A determinação destas variáveis interferem no dimensionamento dos circuitos e no desempenho do sistema. Os serviços de recolha, além de serem complexos operacionalmente, exigem altos custos de operação e geram impactos ambientais associados a emissão de gases do efeito estufa.

Os custos com amortização e manutenção de frotas de automóveis, combustível, aquisição e manutenção dos contentores, recursos humanos e custos de operação como a energia, instalações, higiene e segurança no trabalho são considerados na avaliação de desempenho da recolha dos resíduos.

A avaliação de desempenho de sistemas de gestão de resíduos é importante na avaliação da qualidade dos serviços e na sua melhoria. A avaliação de desempenho baseada em indicadores, contribuem para a otimização do setor, expressando a qualidade do serviço prestado.

Para realizar uma avaliação de desempenho faz-se necessário o levantamento de dados de base da região escolhida, para sequencialmente trata-los e obter variáveis de cálculo para a determinação de indicadores de desempenho.

3.1. Dimensionamento

O dimensionamento de um sistema de recolha segue os mesmos princípios de dimensionamento quer sejam resíduos recicláveis quer sejam resíduos indiferenciados. Acresce que, no dimensionamento de um sistema de recolha seletiva, é fundamental conhecer a composição física dos resíduos de modo a saber a fração de cada tipo de resíduo existentes e a partir daí poder determinar se a capacidade e número de equipamentos de deposição necessários para cada tipo de resíduos.

Na implementação de sistemas de recolha de resíduos os níveis de sensibilização e educação ambiental da população são muito importantes para o seu sucesso, pois este fator determina uma maior ou menor adesão da população à separação dos resíduos na fonte e à sua deposição nos equipamentos disponibilizados.

De maneira a dimensionar corretamente um sistema de recolha seletiva de resíduos deve inicialmente proceder-se a um levantamento criterioso da zona a servir.

3.1.1 Produção de Resíduos

A produção de resíduos é a quantidade de resíduos recolhida para tratamento e destino final. Os resíduos sólidos urbanos produzidos devem ser caracterizados por categorias e subcategorias de acordo com a grelha de análise apresentada na Portaria n.º 851/2009 de 7 de Agosto.

Tabela 2: Grelha de análise dos resíduos urbanos (Portaria n.º 851/2009 de 7 de Agosto)

Categorias	Subcategorias
Finos < 20 mm	
Bio resíduos	Resíduos alimentares (restos de cozinha). Resíduos de jardim. Outros resíduos putrescíveis.
Papel/cartão	Resíduos de embalagens de papel/cartão e outros. Jornais e revistas.
Plástico	Resíduos de embalagens em filme de PE. Resíduos de embalagens rígidas em PET.

	Resíduos de embalagens rígidas em PEAD. Resíduos de embalagens rígidas em EPS. Outros resíduos de embalagens de plástico e outros.
Vidro	Resíduos de embalagens de vidro e outros.
Compósitos	Resíduos de embalagens de cartão para alimentos líquidos (ECAL). Outros resíduos de embalagens compósitas. Pequenos aparelhos eletrodomésticos. Outros resíduos compósitos.
Têxteis	Resíduos de embalagens têxteis e outros. Têxteis sanitários.
Metais	Resíduos de embalagens ferrosas e outros. Resíduos de embalagens não ferrosas e outros.
Madeira	Resíduos de embalagens de madeira e outros.
Resíduos perigosos	Produtos químicos. Tubos fluorescentes e lâmpadas de baixo consumo. Pilhas e acumuladores. Outros resíduos perigosos.
Outros resíduos	Outros resíduos de embalagens. Outros resíduos não embalagem.
Resíduos verdes (recolhidos em separado); Resíduos volumosos	

Fonte: Adaptado da Portaria n.º 851/2009 de 7 de Agosto.

Os resíduos provenientes das recolhas indiferenciadas, ou das recolhas seletivas, devem ser objeto de um procedimento de amostragem para determinação da composição física média.

Os fluxos de recolhas seletivas que, embora de origem distinta, não sejam geridos individualmente, mas sim misturados e/ou encaminhados em conjunto com outros para triagem ou diretamente para reciclagem, podem ser agregados para efeitos de determinação da composição física.

Poderá ser o caso:

- Dos fluxos das recolhas seletivas de papel/cartão depositados nos ecopontos, porta-a-porta e nos ecocentros;
- Dos fluxos das recolhas seletivas de embalagens de plástico, de metal e de cartão para alimentos líquidos em ecopontos e porta-a-porta;
- Dos fluxos das recolhas seletivas de vidro em ecopontos e ecocentros.

As entidades responsáveis pela gestão dos resíduos urbanos realizam uma campanha anual de caracterização, composta por dois períodos de amostragem, um no Outono-Inverno e outro na Primavera-Verão.

Pela Equação 1 (Kanchanabhan, et al. 2011; Apaydin, 2011) pode-se determinar o cálculo da capitação deve conhecer-se a produção de resíduos e

a população servida pelo sistema de recolha:

$$\mathbf{Cap} = \frac{\mathbf{PRU}}{\mathbf{Hab} \times \mathbf{T}}$$

Equação 1

Onde:

Cap: quantidade de resíduos produzidos por habitante por unidade de tempo ($\text{kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$);

PRU: quantidade de resíduos produzidos (ton ou kg);

Hab: população servida (hab);

T: unidade temporal de produção de resíduos (geralmente dia).

Determinada a capitação pode calcular-se a produção unitária de RU (Kanchanabhan, et al. 2011; Apaydin, 2011) para diferentes situações como capitação por alojamento, Equação 2, por edifício, Equação 3 ou por lugar a recolher, Equação 4, assim tem-se:

$$\mathbf{Cap}.\mathbf{Aloj} = \mathbf{H1} \times \mathbf{Cap}.$$

Equação 2

$$\mathbf{Cap}.\mathbf{Edificio} = \mathbf{H2} \times \mathbf{Cap}$$

Equação 3

$$\mathbf{Cap}.\mathbf{Lugar} = \mathbf{E1} \times \mathbf{Cap}$$

Equação 4

Onde:

Cap: quantidade de resíduos produzidos por habitante por unidade de tempo ($\text{kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$);

Cap._{Aloj}: quantidade de resíduos produzidos por alojamento por unidade de tempo ($\text{kg.aloj}^{-1}.\text{dia}^{-1}$);

Cap._{Edif}: quantidade de resíduos produzidos por edifício por unidade de tempo ($\text{kg.edif}^{-1}.\text{dia}^{-1}$);

Cap._{Lugar}: quantidade de resíduos produzidos por lugar por unidade de tempo ($\text{kg.lugar}^{-1}.\text{dia}^{-1}$);

H1: quantidade de habitantes por alojamento (hab.aloj^{-1});

H2: quantidade de habitantes por edifício (hab.edif^{-1});

E1: quantidade de edifícios em uma localidade (edif.lugar^{-1}).

Quando não se conhece a produção de RU (Kanchanabhan, et al. 2011; Apaydin, 2011) procede-se ao seu cálculo considerando uma capitação média para obter a estimativa de produção de RU, conforme Equação 5. Assim sendo:

$$\text{PRU} = \text{Hab} \times \text{Cap.}$$

Equação 5

Onde:

PRU: produção de resíduos sólidos estimada (kg.dia⁻¹);

Hab: quantidade de pessoas que produzem resíduos (hab);

Cap.: quantidade média de resíduos produzidos por habitante por unidade de tempo (kg.hab⁻¹.dia⁻¹).

É importante, após a determinação da produção de resíduos, proceder ao cálculo do seu volume (Kanchanabhan, et al. 2011; Apaydin, 2011), uma vez que o volume dos RU é o fator limitante e não o seu peso, quer em termos da capacidade das viaturas de recolha quer em termos da capacidade dos equipamentos de deposição (contentores) a instalar.

Conhecendo-se a produção de RU procede-se à determinação do volume dos RU produzidos, conforme Equação 6.

$$V = \frac{\text{PRU}}{\rho}$$

Equação 6

Onde:

V: volume total de RU produzidos (m³);

PRU: produção de resíduos sólidos desconhecida (kg.dia⁻¹);

ρ: massa específica; Quantidade de resíduos contida na unidade de volume (kg.m⁻³).

Na Tabela 3 apresenta-se o massa específica média e a sua variação relativa aos principais fluxos de resíduos sólidos urbanos em Portugal.

Tabela 3: Massa específica dos principais fluxos de resíduos urbanos

Categoria	Massa Especifica (kg.m ⁻³)		
	Mínimo	Máximo	Médio
Indiferenciado	90	450	200
Plástico	45	79	62
Metal	128	194	160
Papel/Cartão	57	96	86
Vidro	169	213	194

Fonte: (TEIXEIRA, C., 2010).

O cálculo do volume de resíduos a recolher (Kanchanabhan, et al. 2011; Apaydin, 2011) é importante para determinar a quantidade necessária de contentores a recolher.

$$VA = \sum_k^r \frac{Hab \times Cap \times Cf_k \times \frac{7}{N1}}{\rho_k}$$

Equação 7

Onde:

VA: volume acumulado de RU nos contentores (m³);

r: número de recolhas (unidade);

k: categoria do resíduo (indiferenciado, plástico, metal, papel/cartão e vidro);

Hab: quantidade de pessoas que produzem resíduos (hab);

Cap: quantidade de resíduos produzidos por habitante em unidade de tempo (kg.hab⁻¹.dia⁻¹);

Cf: composição física do componente, podendo variar por cidade/zona (%);

N1: número semanal de recolhas (dia.recolha⁻¹);

ρ: massa específica; Quantidade de resíduos contida na unidade de volume (kg.m⁻³).

Conhecendo-se o volume de RU que devem ser recolhidos é necessário definir, a tipologia dos equipamentos de deposição e a sua capacidade, para poder determinar o número necessário de equipamentos a serem instalados.

3.1.2 Circuitos de recolha

Um circuito de recolha é o itinerário programado e sequenciado, de pontos de recolhas predefinidos, ruas a percorrer, dias e horário.

Os circuitos de recolha de RU, dividem-se entre: recolha de resíduos indiferenciados e recolha de resíduos recicláveis. A recolha de RU indiferenciados em determinada localidade pressupõe, inicialmente, dividir a área e atribuir a cada uma delas pontos de recolha definindo o circuito de recolha. Os circuitos de recolha podem ter uma recolha ou mais de uma recolha como pode ser visualizado na Figura 1 e na Figura 2.

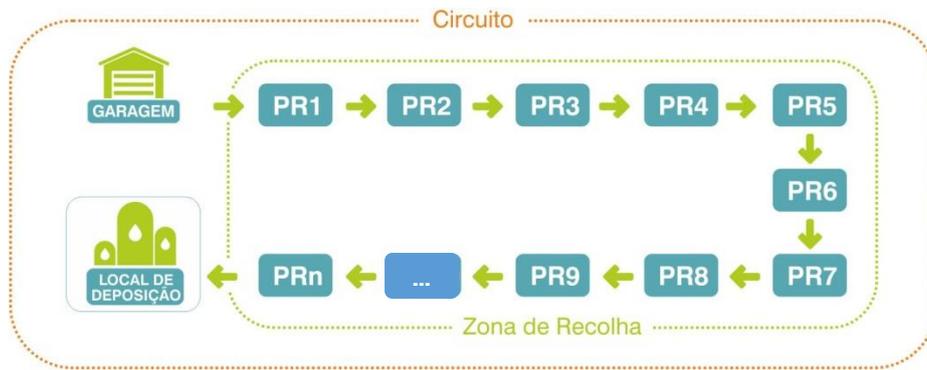


Figura 1: Exemplo esquemático de um circuito de recolha com uma recolha

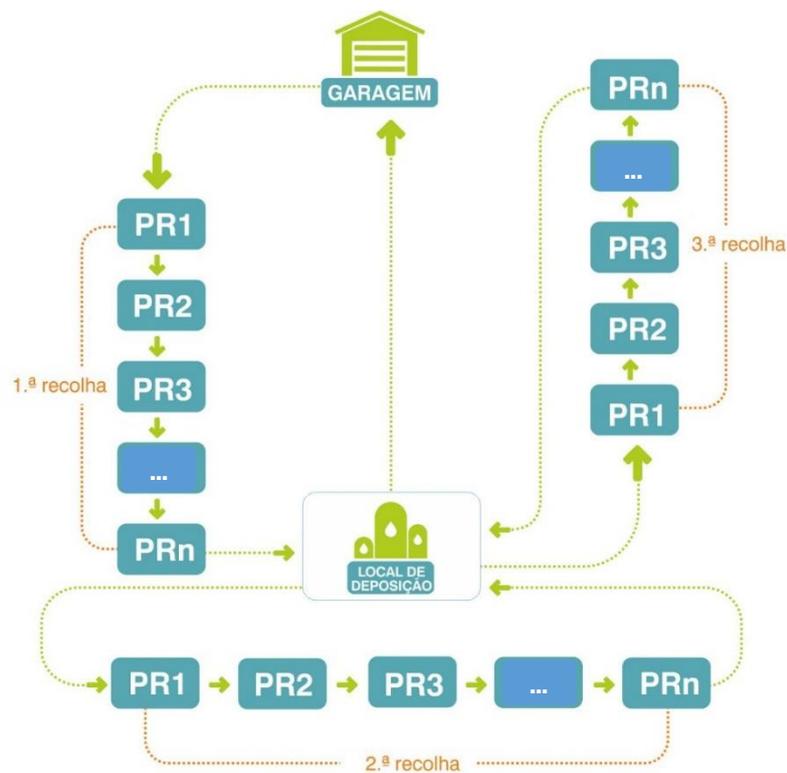


Figura 2: Exemplo esquemático de um circuito de recolhas com diferentes recolhas.

São estabelecidos os circuitos de recolha em função da capacidade, em volume, das viaturas de recolha e da limitação dos horários de trabalho dos operadores da recolha. A Zona de Recolha é o conjunto de pontos de recolha (PR) que marginam as vias públicas urbanas nos locais onde é disponibilizado o serviço de deposição e recolha dos resíduos. As zonas de recolha devem ser definidas de tal forma que a sua dimensão corresponda a múltiplos da capacidade das viaturas de recolha e o tempo do circuito igual ao tempo da jornada de trabalho.

Segundo Tchobanoglous et al. (1993) os princípios orientadores do planeamento de circuitos de recolha são:

- Os circuitos não devem ser segmentados ou sobrepostos;
- Os circuitos devem ser compactos, consistindo em ruas agrupadas na mesma área geográfica;
- Os tempos de recolha e distâncias devem ser equilibrados para cada circuito, de modo a garantir circuitos adaptados aos horários de trabalho;
- O circuito deve iniciar tão próximo quanto possível da garagem;
- Nos percursos de grande trânsito este fato deve ser tido em consideração.

Para um circuito de recolha deve-se definir:

- Pontos de recolha: localização dos contentores;
- Equipamentos de deposição: tipo e capacidade dos contentores;
- Viaturas de recolha: quantidade e capacidade de viaturas disponíveis;
- Frequência de recolha: dias da semana a ser efetuada a recolha;
- Tempo de recolha: tempo gasto com a recolha dos resíduos, desde a saída da garagem até o retorno.

3.1.3 Pontos de recolha

Os pontos de recolha são o número de paragens que a viatura efetua para recolha de contentores.

Dependendo da quantidade de RU a recolher, um circuito pode comportar apenas uma recolha com uma deposição, também podendo ser denominado de frete ou volta, isto ocorre quando os RU a recolher ocupam um volume idêntico ou inferior à capacidade da viatura. O circuito pode comportar várias recolhas com várias deposições, ou seja, os resíduos produzidos nesse circuito possuem um volume superior à capacidade da viatura, portanto a equipa de recolha interrompe a recolha do circuito para realizar a deposição dos RU no local de deposição e reinicia a recolha (2^a, 3^a, ...n voltas) no ponto seguinte ao da interrupção do serviço.

O número de pontos de recolha, depende do tipo de zona e de contentores

instalados, este pode ser diferente do número de contentores. Por exemplo, em zonas de recolha porta a porta, com contentores de pequena capacidade, sem levar em consideração o tipo de resíduo, o número de contentores, neste circuito, será sempre maior que o número de pontos de recolha, ou seja, geralmente em cada ponto de recolha existe mais do que um contentor a recolher. No caso de circuitos com contentores de elevada capacidade, por exemplo em recolhas coletivas de resíduos recicláveis o mais comum é que o número de pontos de recolha e o número de contentores recolhidos por circuito seja coincidente.

Determinada a produção de resíduos na zona a ser implementado o sistema de recolha de RU há que ter em consideração que os circuitos têm que ser definidos considerando condicionantes do terreno que possam existir bem como alguns princípios base como: distância entre os pontos de recolha; número de contentores por ponto de recolha; distância entre a garagem e o local de descarregamento.

3.1.4 Equipamentos de Deposição

Na determinação do número de contentores a instalar em determinada localidade deve ter-se em conta as taxas de utilização. A taxa de utilização é determinada pelo quociente entre o volume ocupado pelos resíduos e o volume do contentor. O fator sazonalidade também é importante e deve ser considerado (pode ser incorporado na determinação da taxa de utilização). Deve também ter-se em conta que podendo em determinado dia não se efetuar a recolha, por motivo extraordinário, a capacidade de encaixe dos contentores tem que ser suficiente para dar resposta a este tipo de situações pontuais. Para a determinação do número de contentores utiliza-se a Equação 8 (Apaydin, 2011):

$$C = \frac{(E_{d1} \times E_2) \times VA}{VC \times f}$$

Equação 8

Onde:

C: número de contentores (cont.dia⁻¹.aloj⁻¹);

Edif: número de edifícios (edif);

E2: alojamentos em um edifício (aloj.edif⁻¹);

VA: volume acumulado de RU nos contentores (m³.aloj⁻¹.dia⁻¹);

VC: volume unitário dos contentores (m³.cont⁻¹);

f: fator de utilização dos contentores (baseado na realidade Portuguesa normalmente utiliza-se um fator de entre 0,75 e 0,8, com isto introduz-se uma margem de segurança de 20-25%).

Deve-se determinar o número de ecopontos a serem instalados, estes irão comportar os resíduos de plástico, metal, papel/cartão e vidro. A Equação 9 (Apaydin, 2011) permite determinar este parâmetro.

$$NE = \left[\frac{VA \times TA \times TC}{VE \times f} \right]$$

Equação 9

Onde:

NE: número de ecopontos a recolher (ecopontos.rec⁻¹);

VA: Volume acumulado de RU (m³.aloj⁻¹.recolha⁻¹);

TA: Taxa de Adesão, cooperação da população na separação dos resíduos recicláveis (%);

TC: Taxa de Captura, resíduo que vai para o contentor correto (%);

VE: Volume unitário dos ecopontos para cada componente (plástico, metal, papel/cartão ou vidro) (m³.ecoponto⁻¹);

f: fator de utilização dos contentores também entre 0,75 e 0,8, como nos resíduos indiferenciados.

A taxa de adesão relaciona-se com a percentagem da população que contribui com a separação dos resíduos urbanos, isto também é relacionado com a taxa de captura, pois nem todo o resíduo é colocado no contentor correto, considera-se que a taxa de adesão anda na ordem de 60 a 75%.

3.1.5 Viaturas de recolha

Conhecendo o número de contentores a instalar, tem de determinar-se o

número máximo de contentores por recolha, conforme Equação 10 (Kanchanabhan, et al. 2011; Apaydin, 2011), que vai depender da capacidade das viaturas de recolha utilizadas. A capacidade das viaturas é determinada em função do volume de caixa e da taxa de compactação dos resíduos, sendo fator limitante a capacidade das viaturas.

$$NMC = \left[\frac{CV}{VC \times f(\%)} \right]$$

Equação 10

Onde:

NMC: número máximo de contentores a cada recolha (cont.véiculo⁻¹.recolha⁻¹);

CV: capacidade útil (volume da caixa do veículo + taxa de compactação) (m³.viatura⁻¹.recolha⁻¹);

VC: volume unitário dos contentores (m³.cont⁻¹);

f(%): fator de utilização dos contentores.

Considerando o número total de contentores e o número máximo de contentores por recolha podemos calcular segundo a Equação 11 (Apaydin, 2011), o número de recolhas necessárias para determinada localidade ou zona.

$$NR = \left[\frac{C}{NMC} \right]$$

Equação 11

Onde:

NR: número de recolhas necessárias por localidade (recolha);

C: número de contentores a recolher (cont.);

NMC: número máximo de contentores a cada recolha (cont..recolha⁻¹).

A determinação do número de viaturas, apresentado na Equação 12 (Apaydin, 2011), está dependente da sua capacidade e é calculada em função do número de recolhas necessárias a realizar e do número de recolhas diárias que cada viatura consegue realizar.

$$NV = \frac{NR}{NRD}$$

Equação 12

Onde:

NV: número de veículo/equipa (veículo);

NR: número de recolhas necessárias por localidade (recolha);

NRD: número de recolhas diárias por veículo /equipa (recolha. veículo⁻¹).

É importante conhecer o volume excedentário das viaturas que poderá ocorrer e que pode servir para organizar e otimizar circuitos ou fazer face a situações pontuais de maior produção de resíduos. Determina-se o volume não utilizado da viatura conforme Equação 13 (Apaydin, 2011).

$$VNU = [NRD \times CV] - \left[\frac{PRU}{\rho} \right]$$

Equação 13

Onde:

VNU: volume não utilizado da viatura (circuito/dia) (m³);

NRD: número de recolhas diárias por veículo /equipa (recolha. veículo⁻¹);

CV: capacidade útil (volume da caixa do veículo + taxa de compactação) (m³.viatura⁻¹.recolha⁻¹);

PRU: quantidade de resíduos produzidos (ton ou kg);

ρ: massa específica; Quantidade de resíduos contida na unidade de volume (kg.m⁻³).

3.1.6 Frequência de recolha

A frequência de recolha geralmente é igual ou superior a três vezes por semana, sendo muitas vezes diária. Faz-se nota que na maioria dos casos a frequência de recolha é imposta pelos próprios municípios, não sendo somente um critério técnico mas também um critério político.

Para o cálculo da frequência de recolha de resíduos urbanos, Equação 16 (Kanchanabhan, et al. 2011; Apaydin, 2011) podemos considerar como fatores limitantes o número de contentores, Equação 14 (Kanchanabhan, et al. 2011; Apaydin, 2011) ou viaturas Equação 15 (Kanchanabhan, et al. 2011; Apaydin, 2011).

Fator limitante - Contentores

$$FL_c = \frac{VA}{C \times VC \times f}$$

Equação 14

Fator limitante - Viaturas

$$FL_v = \frac{VA}{CV \times VC \times f}$$

Equação 15

No fator em que o limite é a capacidade dos contentores utiliza-se o número de contentores a recolher, já no caso do fator limite serem as viaturas utiliza-se a capacidade volumétrica da viatura.

Frequência de Recolha

$$FR = \frac{VA}{VC \times f}$$

Equação 16

Onde:

FR: frequência de recolhas por semana (cont.dia⁻¹);

VA: Volume acumulado de RU (m³.aloj⁻¹.recolha⁻¹);

VC: volume unitário dos contentores (m³.cont⁻¹);

f: fator de utilização dos contentores.

3.1.7 Tempos e distâncias a considerar num circuito

O levantamento de dados correspondente aos tempos gastos e às distâncias percorridas dentro de um circuito de recolha é importante, pois a partir deles pode-se dimensionar do circuito de recolha. Leva-se também em consideração na determinação, principalmente, nos tempos despendidos na recolha de RU as horas diárias de trabalho estipulado por lei.

Os tempos de recolha variam em função da quantidade de resíduos a recolher, do comprimento do circuito e das distâncias até o local de deposição e a garagem.

- **Tempo de e para a garagem (TG):** tempo que decorre entre a garagem até ao 1º ponto de recolha, e tempo do local de deposição, após a última recolha, até à garagem;
- **Tempo efetivo de recolha (TE):** depende do tipo de circuito, e refere-se ao tempo que a viatura demora a encher, desde o primeiro ponto de recolha até ao último;
- **Tempo de transporte (T_{transp}):** depende do tipo de circuito, e é o tempo percorrido pela viatura desde o último ponto de recolha, quando o veículo atinge a sua capacidade máxima, até ao local de deposição e regresso ao 1º ponto da volta seguinte;
- **Tempo no local de deposição (TL_d):** Tempo necessário ao esvaziamento da carga do veículo;
- **Tempo fora do circuito (TM):** Inclui os tempos não produtivos mas necessários, inerentes aos circuitos (por exemplo, tempos a preencher folhas e preparar o viatura, tempo perdido na reparação ou manutenção do equipamento, tempos perdidos com o congestionamento no trânsito, pausas do pessoal), e os tempos não produtivos e desnecessários (tempo excessivo pausas pessoal).
- **Tempo total (TT):** tempo gasto com todo o circuito de recolha de resíduos.

De igual modo se pode definir a distância de e para a garagem (DG), a distância efetiva (DE), a distância de transporte (D_{transp}), a distância no local de deposição (DL_d) e a distância total (DT).

Na determinação da duração do circuito de recolha tem que se considerar os diferentes tempos dos trajetos garagem – primeiro ponto de recolha (PR1), tempo efetivo de recolha, último ponto de recolha (PR_n) - deposição no destino final, tempo de deposição, deposição destino final - garagem e os tempos “mortos”.

A Figura 3 ilustra um circuito com só uma deposição, apresentando o TE e a DE. Na Figura 4 apresenta-se o mesmo exemplo porém com várias deposições.

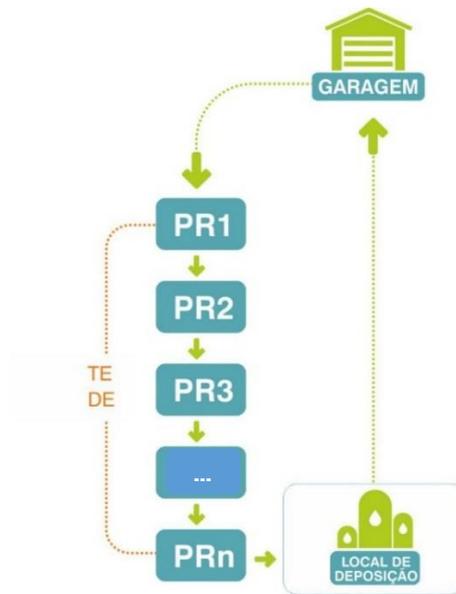


Figura 3: Exemplo esquemático de um circuito com uma deposição identificando TE e DE

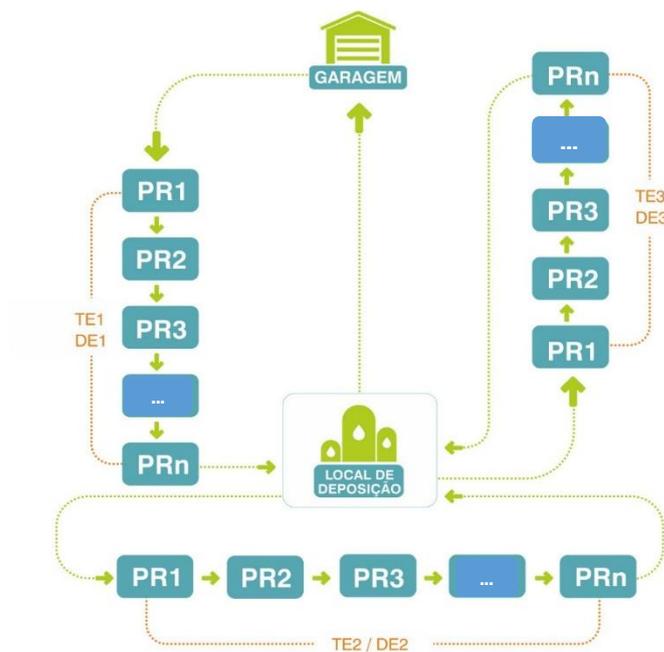


Figura 4: Exemplo esquemático de um circuito com várias deposições identificando TE e DE

Nas Figuras 5 e 6 ilustra esquematicamente o T_{transp} e a D_{transp} para um circuito com uma deposição de resíduos e para um circuito com várias deposições.

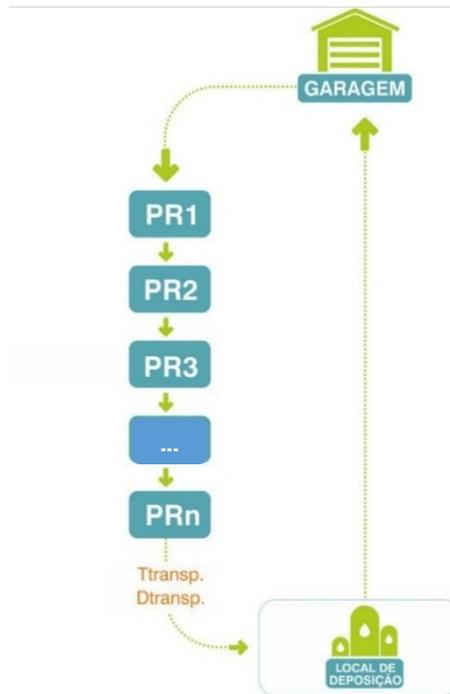


Figura 5: Exemplo esquemático de um circuito com uma deposições identificando Ttransp e Dtransp

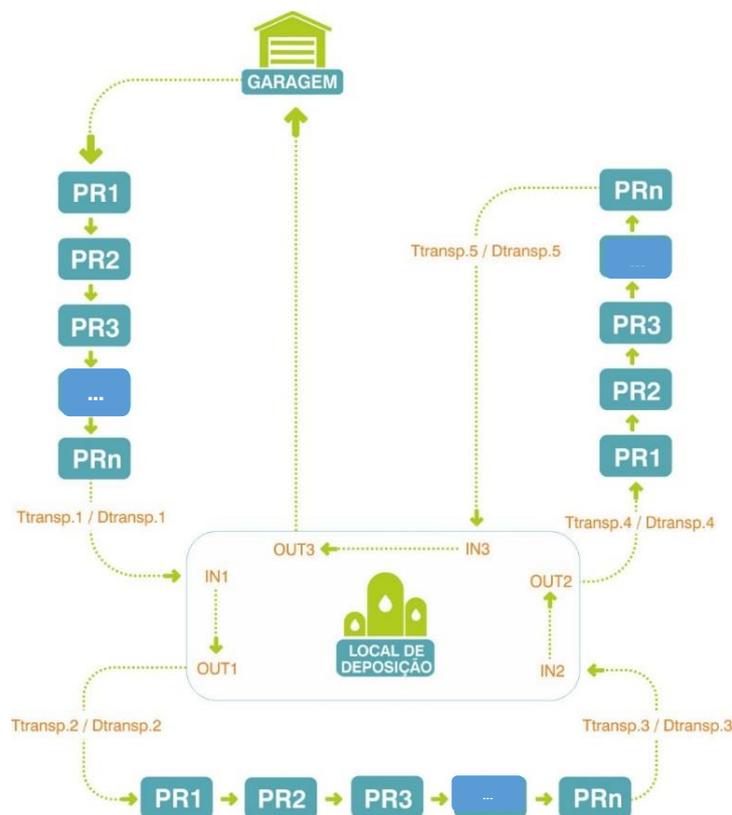


Figura 6: Exemplo esquemático de um circuito com várias deposições identificando Ttransp e Dtransp

As Figuras 7 e 8 ilustram a dinâmica do TLd e da DLd para um circuito com uma deposição e para um circuito com várias deposições.

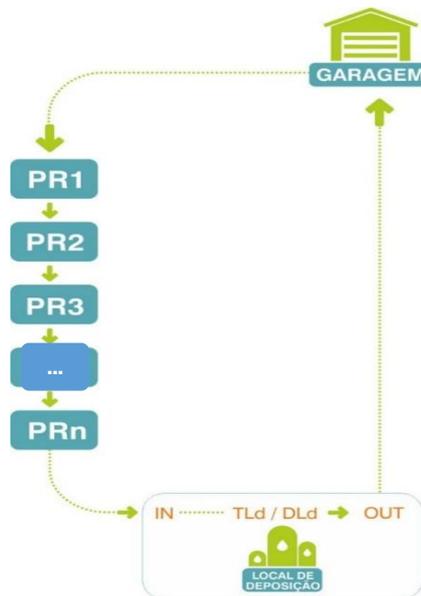


Figura 7: Exemplo esquemático de um circuito com uma deposições identificando TLd e DLd

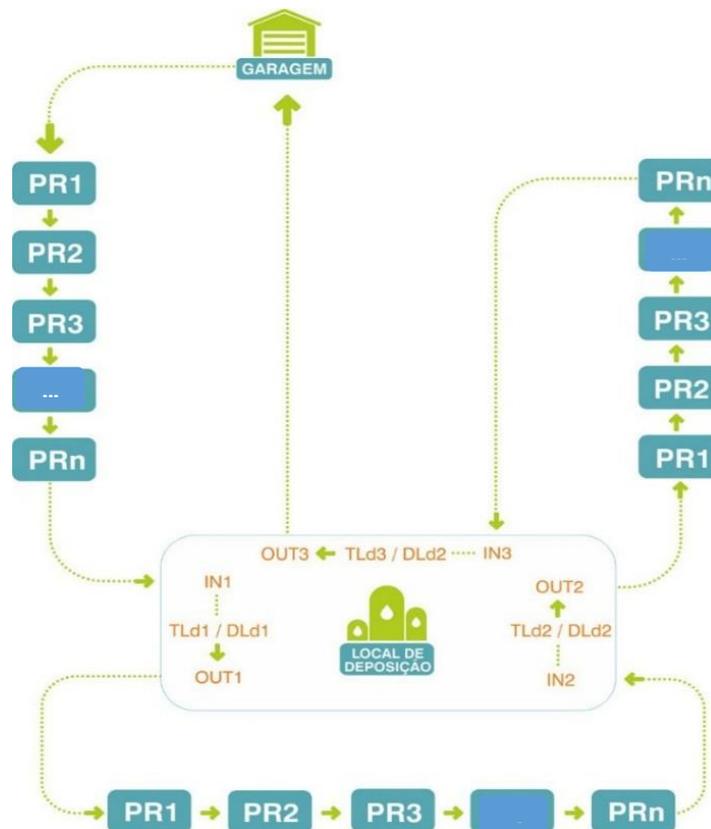


Figura 8: Exemplo esquemático de um circuito com várias deposições identificando TLd e DLd

As Figuras 9 e 10 ilustram a dinâmica do TT e da DT para um circuito com uma deposição e para um circuito com várias deposições.

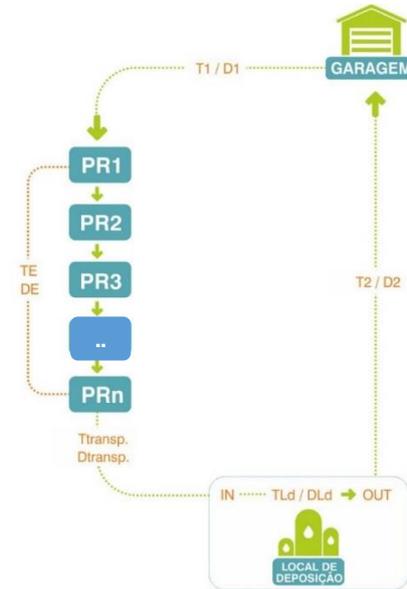


Figura 9: Exemplo esquemático de um circuito com várias deposições identificando TT e DT

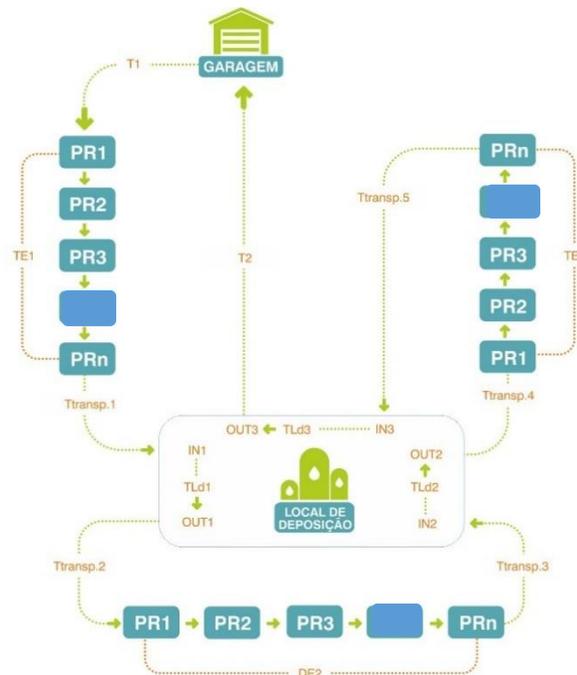


Figura 10: Exemplo esquemático de um circuito com várias deposições identificando TT e DT

3.2. Avaliação de desempenho

Atualmente as entidades gestoras de RU enfrentam desafios que se encontram além da caracterização dos resíduos recolhidos. Não apenas a nível de legislação mas também a nível de avaliação de desempenho e eficiência do sistema. O setor de gestão de resíduos, a crescente diversidade na prestação dos serviços de gestão de resíduos em paralelo com a necessidade de um maior acompanhamento e reconhecimento da sua qualidade, requerem a utilização de sistemas de avaliação de desempenho que sejam consistentes, transparentes e auditáveis.

Nos sistemas de gestão de resíduos a avaliação de desempenho é importante pois avalia a qualidade dos serviços e a sua melhoria, bem como auxilia no apoio à decisões (Ferreira, F. et al., 2017). O surgimento e a evolução de metodologias de avaliação de desempenho, contribuíram para a avaliação e melhoria do setor de gestão de resíduos. Estas metodologias servem para expressar a qualidade do serviço prestado aos utilizadores, tornando a comparação entre objetivos de gestão e resultados obtidos transparente e direta (ERSAR, 2012).

Relativamente às metodologias de avaliação de desempenho, uma das formas de avaliar o desempenho de um sistema de recolha é por meio da determinação de indicadores operacionais, financeiros, sociais e ambientais. Estes indicadores permitem: a identificação de aspectos relevantes para a otimização do sistema de gestão visando a melhoria na qualidade do serviço, a comparação de desempenho entre diferentes sistemas de recolha, a verificação da adaptação dos procedimentos de gestão, e o cumprimento ou não das metas (Teixeira, C. A. et al., 2014).

Os indicadores de desempenho servem para avaliar o desempenho dos serviços e atividades desenvolvidas, de forma a suportar a decisão da entidade gestora com informações atualizadas do sistema de gestão.

A avaliação de desempenho segundo sistemas de indicadores é um processo que envolve na sua génese informações de base (dados originais), variáveis de cálculo (dados analisados), indicadores e índices.

As informações de base são um conjunto de informações que alimentam a metodologia e baseiam-se na aquisição de dados operacionais do sistema e

identificação dos fatores de contexto. As variáveis de cálculo são determinadas através do tratamento matemático dos dados de base. Os indicadores de desempenho e índices são resultados de operações matemáticas entre as variáveis de cálculo, a interpretação dos indicadores de desempenho serve para definir medidas de ação se necessárias.

3.2.1 Informação de base

As informações de base são informações que alimentam o modelo e podem ser divididas em:

1. Dados de caracterização geral dos circuitos;
2. Dados de caracterização da área de intervenção;
3. Dados de caracterização económica dos circuitos;
4. Dados de caracterização operacional das recolhas.

Em 1, 2 e 3, existe uma pequena variação temporal dos dados a recolher. No que diz respeito à caracterização operacional das recolhas, a recolha de dados varia de acordo com a frequência de recolha do circuito, obrigando a uma recolha de dados contínua.

Nas Tabelas 4, 5, 6 e 7 pode se visualizar as informações a serem obtidas para os circuitos, as áreas de intervenção, a economia dos circuitos e a operacionalização das recolhas, as informações obtidas são de contexto, não usadas no cálculo dos indicadores.

Tabela 4: Dados de caracterização geral dos circuitos

Caracterização geral dos circuitos	Informações obtidas
Identificação do circuito	1,2,3 ... n
Entidade de recolha	Zona a ser recolhida
Hora da saída (geralmente)	Turno diurno/noturno
Número de colaboradores	Unidade
Tipo de resíduo	Indiferenciado, plástico, metal, papel/cartão e vidro
Tipo de viatura	Viaturas de caixa aberta; Viaturas herméticas; Carga traseira; Carga lateral; Carga frontal
Capacidade da viatura	m ³
Dias de recolha	2 ^a , 3 ^a , 4 ^a , 5 ^a , 6 ^a feira e sábado.
Tipo de contentores	Superfície; Enterrados

Tabela 5: Dados de caracterização de área de intervenção dos circuitos

Caracterização da área de intervenção dos circuitos	Informações obtidas
Tipo de zona	Porta a porta edifícios/moradas; Ecoilhas; Ecopontos
Número de alojamentos/comércios/outras servidos	Unidade
Número de contentores	Unidade
Volume dos contentores	m ³
Número dos pontos de recolha	Unidade

Tabela 6: Dados de caracterização económica dos circuitos

Caracterização económica dos circuitos	Informações obtidas
Custos com colaboradores	€
Custos com combustível	€.l ⁻¹
Custos com contentores	€.contentor ⁻¹
Custos de manutenção das instalações	€.recolha ⁻¹
Custos de manutenção das viaturas	€.viatura ⁻¹

Os dados de caracterização operacional dos circuitos selecionados (Tabela 7), variam entre circuitos e entre recolhas. Os consumos de combustível e a quantidade de resíduos recolhida, são números que variam de circuito para circuito e de recolha para recolha.

Tabela 7: Dados de caracterização operacional dos circuitos

Caracterização operacional dos circuitos	Informações obtidas
Tipo de combustível	Diesel ou GNC
Consumo de combustível	l
Quantidade de resíduos recolhida	t

3.2.2 Variáveis de cálculo

As variáveis de cálculo podem ser uma informação de base ou uma operação matemática entre informações de contexto inseridas. São determinadas por meio de Equações, os dados que alimentam estas equações são retirados das informações de base. Por meio do resultado das variáveis, pode-se determinar os indicadores de desempenho da metodologia.

As variáveis de cálculo podem ser medidas com precisão ou avaliadas qualitativamente/quantitativamente. Na Tabela 8 estão apresentadas as variáveis de cálculo.

Tabela 8: Variáveis de cálculo

Sigla	Designação	Unidade
TE	Tempo efetivo	h.circuito ⁻¹
Ttransp.	Tempo de transporte	h.circuito ⁻¹
TLd	Tempo no local de deposição	h.circuito ⁻¹
TT	Tempo total de recolha	h.circuito ⁻¹
DE	Distância efectiva de recolha	km.circuito ⁻¹
Dtransp.	Distância de transporte	km.circuito ⁻¹
DLd	Distância no local de deposição	km.circuito ⁻¹
DT	Distância total de recolha	km.circuito ⁻¹
NC	Contentores recolhidos	cont.circuito ⁻¹
CC	Consumo de combustível	l.circuito ⁻¹
QR	Carga de resíduos	t.circuito ⁻¹
NCol	Número de colaboradores	colaboradores.circuito ⁻¹
ND	Número de deposições	deposição(s).circuito ⁻¹
ME	Massa específica	kg.m ⁻³
VT	Volumetria de deposição instalada	m ³
CR	Capacidade de recolha das viaturas	m ³ .viatura ⁻¹
CUC	Custo unitário por colaborador	€.colaborador ⁻¹
CUV	Custo unitário por viatura de serviço	€.recolha ⁻¹
CC	Custo unitário do combustível	€.l ⁻¹
CUM	Custo unitário de manutenção de contentores	€.contentor ⁻¹ .recolha ⁻¹
CUI	Custo com instalações	€.recolha ⁻¹
OC	Outros custos (fardamento)	€.recolha ⁻¹

3.2.2.1 Tempos e Distância Efetiva de Recolha

O tempo efetivo de recolha (TE) corresponde ao tempo (em horas) que a viatura e colaboradores despendem a recolher resíduos numa determinada recolha. O tempo efetivo pode ser determinado por meio da Equação 17 (Apaydin, 2011).

$$TE = \frac{\sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^{T_i} TE_{ij}}{D}$$

Equação 17

Onde:

TE: tempo efetivo (h);

D: representa o número máximo de recolhas;

i: dia (varia de 1 a D);

j: deposição (varia de 1 a T_i), onde T_i representa o número máximo de deposições de determinada recolha;

TE_{ij} : tempo entre o 1º e o último ponto de recolha mais o tempo de esvaziamento dos contentores, antes de uma deposição j, no dia i.

A distância efetiva de recolha (DE) corresponde à distância total percorrida pela viatura (em km) numa determinada recolha de resíduos. A distância efetiva pode ser determinada por meio da Equação 18 (Apaydin, 2011).

$$DE = \frac{\sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^{T_i} DE_{ij}}{D}$$

Equação 18

Onde:

DE: distância efectiva (km);

D representa o número máximo de recolhas;

i: dia (varia de 1 a D);

j: deposição (varia de 1 a T_i), onde T_i representa o número máximo de deposições de determinada recolha;

DE_{ij} : distância entre o 1º e o último ponto de recolha antes de uma deposição j, no dia i.

3.2.2.2 Tempo e Distância de Transporte

O tempo de transporte é o tempo despendido entre o último ponto de recolha e o local de deposição/deposição ou, no caso de haver mais do que uma deposição de resíduos o tempo despendido entre o local de deposição e o primeiro ponto de recolha da deposição seguinte. Na Equação 19 (Apaydin, 2011) está apresentado a determinação do tempo de transporte.

$$T_{transp} = \left(\frac{\sum_{i=1}^D (\sum_{j=1}^{T_i-1} TT_{ij}) + TT_{iT_i}}{D} \right)$$

Equação 19

Onde:

T_{transp} : tempo de transporte (h);

D representa o número máximo de recolhas;

i: dia (varia de 1 a D);

j: deposição (varia de 1 a T_i), onde T_i representa o número máximo de deposições de determinada recolha;

TT_{ij} : tempo entre o último ponto de recolha da deposição j e a entrada no local de deposição + o tempo entre o local de deposição e o 1º ponto de recolha da deposição j + 1, no dia i. (h).

Por analogia, a variável distância de transporte consiste na distância percorrida entre o último ponto de recolha e o local de deposição, ou no caso de haver mais do que uma deposição na distância percorrida entre o local de deposição e o 1º ponto de recolha da deposição seguinte. Na Equação 20 (Apaydin, 2011) está apresentado a determinação da distância de transporte.

$$D_{transp} = \left(\frac{\sum_{i=1}^D (\sum_{j=1}^{T_i-1} DT_{ij}) + DT_{iT_i}}{D} \right)$$

Equação 20

Onde:

D_{transp} : distância de transporte (km);

D: representa o número máximo de recolhas;

i: dia (varia de 1 a D)

j: deposição (varia de 1 a T_i), onde T_i representa o número máximo de deposições de determinada recolha;

DT_{ij} : distância entre o último ponto de recolha da deposição b e a entrada no local de deposição + a distância entre o local de deposição e o 1º ponto de recolha da deposição j+1, no dia i.

3.2.2.3 Tempo e Distância no Local de Deposição

A variável de cálculo tempo no local de deposição, consiste no tempo despendido pela viatura no local de deposição. Na mesma linha de raciocínio,

a variável de cálculo distância no local de deposição, consiste na distância percorrida pela viatura e equipa de recolha dentro do local de deposição. Na Equação 21 (Apaydin, 2011) está apresentado a determinação do tempo despendido pela viatura no local de deposição.

$$TLd = \left(\frac{\sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^{Ti} TLdij}{D} \right)$$

Equação 21

Onde:

TLd: tempo no local de deposição (h);

D: representa o número máximo de recolhas;

i: dia (varia de 1 a D);

j: deposição (varia de 1 a Ti), onde Ti representa o número máximo de deposições de determinada recolha;

TLdij: tempo que a viatura demora desde que entra até que sai do local de deposição, na deposição j, no dia i (h).

Na Equação 22 (Apaydin, 2011) está apresentado a determinação distância percorrida pela viatura e equipa de recolha dentro do local de deposição.

$$DLd = \left(\frac{\sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^{Ti} DLdij}{D} \right)$$

Equação 22

Onde:

DLd: distância no local de deposição (km);

D: representa o número máximo de recolhas;

i: dia (varia de 1 a D);

j: deposição (varia de 1 a Ti) onde Ti representa o número máximo de deposições de determinada recolha;

DLdij: distância que a viatura percorre desde que entra até que sai do local de deposição, na deposição j, no dia i (km).

3.2.2.4 Tempo e Distância Total de Recolha

O tempo total de recolha (TT) corresponde ao tempo despendido (em horas) pela viatura e colaboradores nas várias etapas da recolha de resíduos (tempo de deslocação da garagem para a zona de recolha e do local de descarga para a garagem; tempo efetivo de recolha; tempo de transporte e tempo no local de descarga).

Na determinação da duração do circuito de recolha tem que se considerar os diferentes tempos dos trajetos garagem – primeiro ponto de recolha (PR1), tempo efetivo de recolha, último ponto de recolha (PRn) - deposição no destino final, tempo de deposição, deposição destino final - garagem e os tempos “mortos”. Na Equação 23 (Apaydin, 2011) determina-se o tempo que a viatura leva na garagem. Na Equação 24 (Apaydin, 2011) pode-se determinar o tempo total de recolha.

$$TG = \frac{\sum_{i=1}^D TG_i}{D}$$

Equação 23

Onde:

$$TT = \frac{TE + T_{transp} + TLd + TG}{D}$$

Equação 24

Onde:

TT: tempo total de recolha (h);

TE: tempo efetivo (h);

TLd: tempo no local de deposição (h);

Ttransp: tempo de transporte (h);

TGi: Tempo que a viatura leva da garagem ao 1º ponto de recolha e do local de deposição até à garagem, no dia i.

D: representa o número máximo de recolhas;

i: dia (varia de 1 a D);

j: deposição (varia de 1 a Ti), onde Ti representa o número máximo de deposições de determinada recolha.

A distância total de recolha (DT) corresponde à distância percorrida pela viatura

(em km) nas várias etapas da recolha de resíduos (distância de deslocação da garagem para a zona de recolha e do local de descarga para a garagem; distância efectiva de recolha; distância de transporte e distância no local de descarga). Na Equação 25 (Apaydin, 2011) determina-se a distância até a garagem. Na Equação 26 (Apaydin, 2011) determina-se a distância total de recolha.

$$DG = \frac{\sum_{i=1}^D DG_i}{D}$$

Equação 25

Onde:

$$DT = \frac{DE + D_{transp} + DLd + DG}{D}$$

Equação 26

Onde:

DT: distância total de recolha (km);

DE: distância efectiva (km);

D_{transp}: distância de transporte (km);

DLd: distância no local de deposição (km);

DG: distância da garagem (km);

DG_i: Distância que a viatura percorre da garagem ao 1º ponto de recolha e do local da deposição até à garagem, no dia i (km);

D: representa o número máximo de recolhas;

i: dia (varia de 1 a D), onde D representa o número máximo de recolhas;

j: deposição (varia de 1 a T_i), onde T_i representa o número máximo de deposições de determinada recolha.

3.2.2.5 Contentores Recolhidos

O Número de Contentores Recolhidos (NC) representa o número total de contentores recolhidos numa determinada recolha. A Equação 27 (Apaydin, 2011) representa a fórmula de cálculo desta variável.

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^{T_i} \sum_{n=1}^{N_{DT_i}} NC_{ijn}}{D}$$

Equação 27

Onde:

NC: número de contentores recolhidos (unidade);

D: representa o número máximo de recolhas;

i: dia (varia de 1 a D);

j: deposição (varia de 1 a T_i), onde T_i representa o número máximo de deposições de determinada recolha;

n: número de contentores (unidade);

N_{DT_i} : número máximo de contentores recolhidos numa determinada deposição (unidade);

NC_{ijn} : número de contentores n recolhidos no dia i na deposição j.

3.2.2.6 Consumo de combustível

O Consumo de Combustível (CC) é o número de litros ou m^3 consumidos por uma determinada viatura numa determinada de recolha. A Equação 28 (Apaydin, 2011) determina esta variável.

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^D CC_i}{D}$$

Equação 28

Onde:

CC: consumo de combustível (l ou m^3);

D: representa o número máximo de recolhas;

i: dia (varia de 1 a D);

CC_i : consumo de combustível da viatura no circuito do dia i.

3.2.2.7 Carga de resíduos

A Carga de Resíduos (QR) representa a quantidade total de resíduos recolhida (em toneladas) numa determinada recolha. A fórmula de cálculo desta variável de cálculo é dada pela Equação 29 (Apaydin, 2011).

$$QR = \frac{\sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^{Ti} QR_{ij}}{D}$$

Equação 29

Onde:

QR: quantidade de resíduos (t);

D: representa o número máximo de recolhas;

i: dia (varia de 1 a D);

j: deposição (varia de 1 a Ta), onde Ta representa o número máximo de deposições de determinada recolha;

Ti: tempo inicial de saída da garagem (h);

QR_{ij}: quantidade de resíduos descarregada no local de deposição, na deposição j, no dia i.

3.2.2.8 Número de Colaboradores

A Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) considera um conjunto mais alargado de colaboradores dado que contabiliza o número total equivalente de colaboradores (a tempo integral), direta ou indiretamente afetos à recolha de resíduos urbanos. Neste caso, este indicador é dado pelo número total equivalente de empregados afetos a tempo inteiro ao serviço de gestão de resíduos por 1000 t de resíduos urbanos recolhidos na área de intervenção da entidade gestora.

N_{CM}: Número médio equivalente de assistentes operacionais (cantoneiros e motoristas) a tempo integral afetos por circuito (ope.circ⁻¹).

Esta variável mede a produtividade dos recursos humanos afetos às equipas de remoção, face ao serviço prestado (recolha de resíduos), por unidade de tempo.

É útil na comparação da produtividade entre circuitos ou diferentes subsistemas de recolha, podendo também ser analisado por tipo de material.

Na leitura do indicador deve-se ter presente que foram considerados somente os recursos humanos operacionais diretamente afetos aos circuitos de remoção: motoristas e cantoneiros.

Considera-se o tempo total do circuito, ou seja, o tempo até à chegada à garagem.

Deverão ser contabilizadas as horas de início e de fim de trabalho efectivo dos colaboradores com funções de cantoneiros de limpeza e de condutores, desde o momento em que se apresentam ao serviço nos respetivos locais de trabalho até ao seu regresso.

Outro método para o apuramento do custo-hora será considerar o número anual de horas efectivamente trabalhadas e lançadas em base de dados da entidade gestora, o que inclui, se aplicável, as horas extraordinárias, e exclui todas as licenças/faltas por motivo de férias, maternidade, assistência à família, doença, acidente ou outras formas de absentismo.

A variável de cálculo número de operários, representa a soma dos vários elementos da equipa de recolha (motoristas e operários). Na Equação 30 (Apaydin, 2011) apresenta-se o Cenário 1 e 2 e na Equação 31 (Apaydin, 2011) o cenário 3 e 4:

Cenário 1 e 2:

$$NO = (N_{motR_1} + N_{cantR_1})$$

Equação 30

Onde:

NO: número de operários (unidade);

N_{motR_1} : nº de motoristas utilizados na recolha 1 (unidade);

N_{cantR_1} : nº de cantoneiros utilizados na recolha 1 (unidade).

Cenários 3 e 4:

$$NO = \frac{\sum_{i=1}^n N_{motR} + \sum_{i=1}^r N_{cantR}}{n}$$

Equação 31

Onde:

NO: número de operários (unidade);

n: número de contentores (unidade);

i: dia (varia de 1 a D), onde D representa o número máximo de recolhas;

NmotR: número de motoristas utilizados na recolha n (unidade);

NcantR: número de cantoneiros utilizados na recolha n (unidade);

r: número de recolhas. (recolha).

3.2.2.9 Número de Deposições

O Número de Deposições (ND) representa o número de vezes, numa determinada recolha, que a viatura vai ao local de deposição esvaziar a carga.

3.2.2.10 Massa Específica

A Massa Específica (ME) é a massa específica média (kg.m^{-3}) da tipologia de resíduo recolhida em determinada recolha.

3.2.2.11 Volumetria total instalada

A variável de cálculo volumetria total instalada, corresponde à soma das volumetrias dos contentores alocados a um determinado circuito de recolha. Nas Equações 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38 e 39 estão baseadas em Apaydin (2011) estão apresentando os Cenários 1, 2, 3 e 4:

Cenário 1:

$$VT = VTD$$

Equação 32

$$VTD = \sum_{i=1}^n (NCT \times VCT)_i$$

Equação 33

Onde:

VT: Volumetria total instalada (m³);

VTD: Volumetria total instalada na deposição 1 (m³);

n: número de contentores (unidade);

i: dia (varia de 1 a D), onde D representa o número máximo de recolhas;

NCT: número de contentores do tipo n (contentores);

VCT: Volume dos contentores tipo n (m³).

Cenário 2:

$$VT = \sum_{i=1}^n VTD_i$$

Equação 34

$$VTD = \sum_{i=1}^n (NCT \times VCT)_i$$

Equação 35

Onde:

VT: Volumetria total instalada (m³);

n: número de contentores (unidade);

i: dia (varia de 1 a D), onde D representa o número máximo de recolhas;

VTD: volumetria total instalada na deposição n (m³);

NCT: número de contentores do tipo n (contentores);

VCT: Volume dos contentores tipo n (m³).

Cenário 3:

$$VT = \frac{\sum_{i=1}^n VTR}{r}$$

Equação 36

$$VTR = VTD_1$$

Equação 37

Onde:

VT: Volumetria total instalada (m³);

r: número de recolhas (unidade);

i: dia (varia de 1 a D), onde D representa o número máximo de recolhas;
VTR: volumetria total instalada na recolha n (m³);
VTD₁: volumetria total instalada na deposição 1 (m³).

Cenário 4:

$$VT = \frac{\sum_{i=1}^r VTR}{r}$$

Equação 38

$$VTR = \sum_{i=1}^r VTD$$

Equação 39

Onde:

VT: Volumetria total instalada (m³);
r: número de recolhas (unidade);
i: dia (varia de 1 a D), onde D representa o número máximo de recolhas;
VTD: volumetria total instalada na deposição n (m³);
VTR: volumetria total instalada na recolha n (m³).

3.2.2.12 Capacidade de recolha das viaturas

A capacidade de recolha das viaturas é uma variável independente, sem influência no desempenho operacional e produtivo de cada circuito que. Nas Equações 40 e 41 (Apaydin, 2011) está apresentado os Cenários 1 e 2 e os Cenários 3 e 4.

Cenários 1 e 2:

$$CR = CRR_1$$

Equação 40

Onde:

CR: capacidade de recolha das viaturas (m³);
CRR₁: capacidade de recolha das viaturas na recolha 1 (m³).

Cenários 3 e 4:

$$CR = \frac{\sum_{i=1}^r CRR}{r}$$

Equação 41

Onde:

CR: capacidade de recolha das viaturas (m³);

CRR: capacidade de recolha das viaturas na recolha n (m³);

i: dia (varia de 1 a D), onde D representa o número máximo de recolhas;

r: número de recolhas (m³).

3.2.2.13 Variáveis económicas

Para caracterizar e calcular os custos totais do serviço, atribuiu-se um conjunto de 6 variáveis económicas para a metodologia desenvolvida, apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Variáveis de cálculo económicas

Sigla	Designação	Unidade	Obs.
CUC	Custo unitário por colaborador	€.colaborador ⁻¹	Custo médio do motorista e cantoneiro por recolha. Diferenciar motoristas e cantoneiros
CUV	Custo unitário por viatura	€.viatura ⁻¹ .recolha ⁻¹	Razão entre encargos anuais de amortização e manutenção de viaturas e o número total de recolhas
CC	Custo unitário do combustível	€.l ⁻¹	-
CUM	Custo unitário com contentores	€.contentor ⁻¹ .recolha ⁻¹	Razão entre encargos anuais de amortização e manutenção de contentores e o número total de recolhas
CUI	Custo com instalações	€.recolha ⁻¹	Razão entre encargos anuais de amortização e manutenção de infraestruturas e o número total de recolhas
OC	Outros custos (ex. fardamento)	€.recolha ⁻¹	Razão entre encargos anuais com fornecimento de outros serviços externos e o número total de recolhas

3.2.3 Indicadores de desempenho

Os indicadores de desempenho são definidos como uma forma de diagnóstico e de correção de falhas, que pode definir prioridades de atuação, fazer comparação de resultados mediante as propostas postas em prática e apresentação de resultados (ALGRE E BATISTA, 1999).

Segundo a ERSAR e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) (2009), os indicadores devem obedecer a certos requisitos, sendo estes:

- Definição rigorosa, com atribuição de significado conciso e interpretação inequívoca;
- Possibilidade de cálculo pela globalidade das EG sem esforço adicional significativo;
- Possibilidade de verificação no âmbito de auditorias externas;
- Simplicidade e facilidade de interpretação;
- Medição quantitativa, objetiva e imparcial sob um aspeto específico do desempenho da entidade gestora, de modo a evitar julgamentos subjetivos ou distorcidos.

A avaliação através de indicadores envolve as informações de base, que são os dados originais, as variáveis de cálculo, dados analisados, os indicadores, que resultam de operações matemáticas entre variáveis de cálculo e geralmente quocientes para normalizar a informação, e por fim os índices que correspondem a um nível superior de agregação, onde após aplicado um método de agregação e ponderação de indicadores é obtido um valor final. Os métodos de agregação podem ser aritméticos (linear, geométrico, mínimo, máximo, aditivo) ou então heurísticos (que obedece a regras de decisão) (MONTEIRO, 2013).

Não existem ainda muitos trabalhos abordando o estudo de indicadores de desempenho na análise de circuitos de recolha e transporte dos resíduos urbanos.

Santos (2011), monitorizou sistemas de recolha seletiva e indiferenciada porta a porta, ecoilhas e ecopontos em Lisboa. Com os dados destas análises determinou indicadores operacionais de desempenho que permitiram a visualização do desempenho dos diferentes sistemas de recolha seletiva e

indiferenciada. No Quadro 1 apresenta-se o conjunto de indicadores operacionais calculados para os circuitos monitorizados.

Quadro 1: Indicadores Operacionais determinados por Santos (2011)

Indicadores por ponto de recolha e por contentor	
Quantidade recolhida / ponto de recolha	kg.ponto ⁻¹
Quantidade recolhida / contentor	kg.cont. ⁻¹
Quantidade recolhida / por saco	kg.saco ⁻¹
Indicadores por tempo do circuito	
Quantidade de resíduos recolhidos / tempo total do circuito	t.h ⁻¹
Quantidade de resíduos recolhidos / tempo efetivo do circuito	t.h ⁻¹
Velocidade de deslocação da garagem ao 1º ponto	km.h ⁻¹
Velocidade na recolha efetiva	km.h ⁻¹
Velocidade no transporte	km.h ⁻¹
Velocidade de deslocação para a garagem	km.h ⁻¹
Velocidade por tempo total do circuito	km.h ⁻¹
Tempo efetivo de trabalho / tempo total do circuito	%
Tempo total do circuito / tempo normal de trabalho	%
Indicadores por distância percorrido	
Quantidade resíduos recolhidos / km total do circuito	t.km ⁻¹
Quantidade resíduos recolhidos / km efetivo do circuito	t.km ⁻¹
Consumo de combustível / km percorrido	l.km ⁻¹
Consumo de combustível / km percorrido	m ³ .km ⁻¹
Coeficiente de concentração do circuito (%)	%
Indicadores por qualidade recolhida	
Distância total percorrida / quantidade recolhida	km.t ⁻¹
Distância efetiva percorrida / quantidade recolhida	km.t ⁻¹
Tempo total do circuito / tonelada recolhida	h.t ⁻¹
Tempo efetivo do circuito / tonelada recolhida	h.t ⁻¹
Consumo de combustível / tonelada recolhida	l.t ⁻¹
Consumo de combustível / tonelada recolhida	m ³ .t ⁻¹
Nº de pontos de recolha / tonelada recolhida	nº.t ⁻¹
Nº de contentores recolhidos / tonelada recolhida	nº.t ⁻¹

Roberta (2014) apresenta uma matriz de indicadores de sustentabilidade de recolha seletiva de RU na cidade de Salvador no Brasil. A matriz busca determinar o Grau de Sustentabilidade (GS) da recolha seletiva. Preliminarmente a matriz foi composta por quatro dimensões, 24 indicadores, após a validação externa, pelo método de *Delphi*, que é baseado no princípio em que as previsões por um grupo estruturado de especialistas são mais precisas se comparadas às provenientes de grupos não estruturados ou individuais, a matriz final de indicadores de sustentabilidade de recolha seletiva é constituída por 22 indicadores e 69 tendências.

O Quadro 2 apresenta a Matriz Preliminar de Indicadores de Sustentabilidade de Coleta Seletiva após a aplicação do método *Delphi*. A aplicação da matriz resultou para a cidade de Salvador/BR um grau baixo de sustentabilidade.

Quadro 2: Matriz Preliminar de Indicadores de Sustentabilidade de Coleta Seletiva – 1ª rodada *Delphi* (Adaptado Roberta (2014)).

Indicadores e dimensões da sustentabilidade	Forma de apuração
Dimensão institucional/operacional	
Gestão compartilhada	Existência de participação da sociedade civil
Marco legal no município	Existência de Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos que contemple a coleta seletiva
Instrumentos legais na relação com as organizações de catadores	Atendimento aos requisitos legais de contratação
Percentual de pessoas atendidas pela recolha seletiva	$(n^{\circ} \text{ de habitantes atendidos pela coleta seletiva}) / (n^{\circ} \text{ total de habitantes}) \times 100$
Área de abrangência do serviço de recolha seletiva	Qual a abrangência da recolha seletiva no município
Parcerias entre as organizações	Quantidade de parcerias entre as organizações
Dimensão econômica	
Custo total do programa em relação à quantidade recolhida seletivamente	$(\text{custo total com recolha seletiva}) / (\text{quantidade coletada pela recolha seletivamente})$
Porcentual de autofinanciamento da recolha seletiva (%)	$(\text{recursos do imposto predial e territorial urbano e/ou taxa}) / (\text{custo total da recolha seletiva}) \times 100$
Porcentual custo da recolha seletiva com a recolha regular e aterramento (%)	$(\text{custo total com recolha seletiva}) / (\text{custo da recolha regular} + \text{custo com aterramento}) \times 100$
Custo da recolha seletiva em relação ao manejo de RU (%)	$(\text{custo total com recolha seletiva}) / (\text{custo com manejo de resíduos sólidos}) \times 100$
Relação entre as despesa com a recolha seletiva e despesas empregadas a limpeza urbana (%)	$(\text{despesa com recolha seletiva}) / (\text{despesa com limpeza urbana}) \times 100$
Porcentual do orçamento municipal utilizado na recolha seletiva (%)	$(\text{orçamento para recolha seletiva}) / (\text{total do orçamento municipal}) \times 100$
Aplicação dos recursos provenientes da recolha seletiva	Forma de aplicação dos recursos provenientes da recolha seletiva
Dimensão Ambiental	
Massa per capita anual recuperada	$(\text{quantidade recuperada}) / n^{\circ} \text{ de habitantes}$
Massa per capita recolhida seletivamente	$(\text{massa recolhida seletivamente}) / (n^{\circ} \text{ de habitantes})$
Taxa de rejeitos (%)	$(\text{quantidade de recolha seletiva} - \text{quantidade comercializada}) / (\text{quantidade da recolha seletiva}) \times 100$
Taxa de material recolhidos nos Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) em relação à quantidade total recolhida pela recolha seletiva	$(\text{quantidade recolhida nos PEVs}) / (\text{quantidade recolha seletiva}) \times 100$
Taxa de recuperação de materiais recicláveis em relação à quantidade total coletada (%)	$(\text{quantidade recolha seletiva} - \text{quantidade de rejeitos}) / (\text{quant. Idade recolha seletiva} + \text{quantidade recolha regular}) \times 100$
Dimensão Sócio Cultural	
Adesão da população (%)	$(n^{\circ} \text{ de residências que participa do programa}) /$

	(nº de residências atendidas pelo programa)x100
Programas de educação e divulgação	Frequência anual das atividades desenvolvidas
Inclusão de catadores avulsos (%)	(nº de catadores avulsos incluídos)/ (nº total de catadores avulsos existentes)x100
Renda média mensal nas cooperativas	Valor médio pago aos catadores organizados em cooperativas
Participação de catadores nas ações de recolha seletiva	Forma de participação dos catadores nas ações de recolha seletiva
Existência de cooperativas ou associações no município	nº de cooperativas ou associações de catadores

A ERSAR (2012) apresenta no Quadro 3 indicadores de desempenho definidos e utilizados para a análise de desempenho das entidades gestoras de RU. Os indicadores avaliam sistemas em “alta” e em “baixa”. O sistema em “alta” compreende as operações de gestão que se iniciam nas estações de transferência até à deposição final em aterro sanitário. O sistema em “baixa” é designado como a parte do processo que serve diretamente o utilizador, desde os contentores urbanos às estações de transferência ou às estações de tratamento e de valorização (Silva, 2015).

Quadro 3: Indicadores de qualidade do serviço de gestão de resíduos sólidos urbanos (adaptado de ERSAR, 2012)

Subsistemas de classificação dos ID	Sistema em “Alta”	Sistema em “Baixa”
Adequação da interface com o utilizador	<u>Acessibilidade do serviço aos utilizadores</u> RU01 – Acessibilidade física do serviço (%) RU02 – Acessibilidade do serviço de recolha seletiva (%) RU03 – Acessibilidade económica do serviço (%)	
	<u>Qualidade do serviço prestado aos utilizadores</u> RU04 – Lavagem de contentores (-) RU05 – Resposta a reclamações e sugestões (%)	
Sustentabilidade da gestão do serviço	<u>Sustentabilidade económica</u> RU06 – Cobertura dos gastos totais (-)	
	<u>Sustentabilidade infraestrutural</u> RU07 – Reciclagem de resíduos de embalagem (%)	
	RU08 – Valorização orgânica (%) RU09 – Incineração (%) RU10 – Utilização da capacidade de encaixe de aterro (%)	
	RU11 – Renovação do parque de viaturas (km/viatura)	
		RU12 – Rentabilização do parque de viaturas [kg/(m ³ · ano)]
	<u>Produtividade física dos recursos humanos</u>	

	RU13 – Adequação dos recursos humanos (número/1000 t)	
Sustentabilidade ambiental	<u>Eficiência na utilização de recursos ambientais</u>	
	RU14 – Utilização de recursos energéticos (kWh/t)	RU14 – Utilização de recursos energéticos (tep/t)
	<u>Eficiência da Prevenção da Poluição</u>	
	RU15 – Qualidade dos lixiviados após tratamento (%)	
		RU16 – Emissão de gases com efeito de estufa (kg CO2/t)

A ERSAR (2012) avalia a qualidade do serviço prestado aos utilizadores através da comparação do resultado com o correspondente valor de referência. Os valores de referência servem para mensurar o grau de desempenho, e para determinar metas para o futuro, aspetos fundamentais da qualidade.

4. CASO DE ESTUDO FIGUEIRA DE CASTELO RODRIGO

O caso de estudo do município de Figueira de Castelo Rodrigo baseia-se no cálculo o número de contentores que deveriam ser utilizados considerando os critérios de dimensionamento adotados no Capítulo 3 mas, tendo em consideração, os circuitos de recolha em funcionamento. Posteriormente é feita a sua comparação com o número de contentores efetivamente existentes de forma a identificar a existência de sobredimensionamento do sistema.

Será desenvolvida uma metodologia de avaliação de desempenho da recolha de resíduos a partir de indicadores. Para tal propôs-se um conjunto de indicadores de desempenho operacionais, económicos e um ambiental, de forma a diagnosticar, avaliar e identificar alguns desequilíbrios do sistema.

4.1. Descrição da Área de Estudo

O Município de Figueira de Castelo Rodrigo tem uma extensão territorial de 508,6 km² e densidade populacional 12,3 hab.km⁻², dispõe da divisão de gestão do ambiente e de saneamento básico.

No Quadro 4 apresenta-se o número de habitantes por localidade do município.

Quadro 4: Número de habitantes por localidade no município de Figueira de Castelo Rodrigo

Localidade	Número de habitantes
Figueira de Castelo Rodrigo	6260
Escalhão	770
Penhã de Águia	111
Quintã de Pêro Martins	145
Vale de Afonsinho	83
Algodres	294
Vilar de Amargo	158
Freixeda do Torrão	262
Vilar Torpim	213
Reigada	303
Cinco Vilas	94
Vermiosa	394
Escarigo	99
Almofala	181
Mata de Lobos	383

Fonte: INE(2011).

A recolha seletiva, valorização, tratamento e eliminação em aterro dos resíduos produzidos por 19.3726 habitantes em uma área de 6.160 km² é responsabilidade da Resiestrela S.A., concessionária do Sistema Multimunicipal que integra Almeida, Belmonte, Celorico da Beira, Covilhã, Figueira de Castelo Rodrigo, Fornos de Algodres, Fundão, Guarda, Manteigas, Mêda, Penamacor, Pinhel, Sabugal e Trancoso.

Apenas a recolha indiferenciada é direta responsabilidade de Figueira de Castelo Rodrigo uma vez que o município não dispõe de infraestruturas adequadas para a valorização de resíduos recicláveis e para a eliminação de indiferenciados. Cabe salientar que o Município enfrenta vários constrangimentos na gestão dos resíduos, conforme o Relatório & Contas (2015) assinala. Figueira de Castelo Rodrigo é o único município português onde a produção de resíduos, entre 2014 e 2015, aumentou. Em 2015, o serviço de reciclagem de resíduos foi classificado pela ERSAR (2016) como insatisfatório.

Ainda assim, o município disponibiliza gratuitamente o serviço de recolha dos resíduos indiferenciados para todas as localidades, inclusive para as embarcações hotel que atracam no cais de Barca D'Alva, onde a quantidade de resíduos produzida pelas embarcações hotel depende do número de passageiros e tripulantes a bordo.

O sistema de gestão de resíduos urbanos do Município de Figueira de Castelo Rodrigo assegura o serviço a 5.424 alojamentos dispersos por 508,6 km². O Município é classificado pela ERSAR (2016) como “Área predominantemente rural”. No ano de 2015 foram recolhidas 2.538 toneladas de resíduos urbanos e os gastos totais com a sua gestão ascenderam a 200196,83€.

O Quadro 5 mostra que em 2015 em Figueira de Castelo Rodrigo, segundo a RASARP (2016), foram recolhidas, triadas e encaminhadas para reciclagem 128 toneladas de recicláveis provenientes de 3.402 alojamentos, depositados em 35 Ecopontos (114 t) e 1 Ecocentro (14 t).

Quadro 5: Serviço de recolha seletiva em Figueira de Castelo Rodrigo

Variável	Valor (2015)	Unidade
Alojamentos com serviço de recolha seletiva	3.402	unidade
Resíduos de embalagem recolhidos seletivamente	128	t
Volume de resíduos para reciclagem	135	t
Recolha de resíduos de embalagem	170	t
Ecopontos	35	unidade

Fonte: RASARP (2016).

No Quadro 6 apresentam-se elementos relativos ao serviço de recolha indiferenciada realizado pelo Município, servindo 5.128 recolha indiferenciada que representa 2.368 toneladas de resíduos, depositados em 605 contentores, distribuídos por 4 Circuitos. A recolha indiferenciada envolveu 5,6 colaboradores Equivalentes a Tempo Integral (ETI) e 2 viaturas de recolha.

Quadro 6: Serviço de recolha indiferenciada em Figueira de Castelo Rodrigo

Variável	Valor (2015)	Unidade
Alojamentos com serviço de recolha indiferenciada	5.128	unidade
Resíduos urbanos recolhidos indiferenciadamente	2.368	t
Número de contentores	605	Unidade
Capacidade instalada de contentores	484	m ³

Fonte: Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (RASARP) (2016).

O município possui 4 circuitos de recolha de recolha indiferenciada de resíduos urbanos:

- O circuito 1 realizado à Segunda e Quinta-feira inclui parte de Figueira de Castelo Rodrigo (25%), Escalhão, Penhã de Águia, Quintã de Pêro Martins, Vale de Afonsinho, Algodres, Vilar de Amargo e Freixeda do Torrão;
- O circuito 2 é realizado à Terça e sexta-feira inclui parte de Figueira de Castelo Rodrigo (25%), Vilar Torpim, Reigada, Cinco Vilas, Vermiosa, Escarigo, Almofala e Mata de Lobos;
- O circuito 3 realizado à Quarta-feira inclui parte de Figueira de Castelo Rodrigo, Algodres, Vermiosa, Mata Lobos e Escalhão;
- O circuito 4 realizado no Sábado inclui parte de Figueira de Castelo Rodrigo e Barca d'Alva (nos meses em que há barcos).

4.2. Metodologia

A metodologia utilizada na realização deste trabalho tendo como objetivos a determinação da quantidade de contentores e a avaliação do serviço de recolha de resíduos urbanos consiste fundamentalmente nos seguintes aspetos:

- 1) Determinação do número de contentores do município de Figueira de Castelo Rodrigo de acordo com os critérios descritos no Capítulo 3;
- 2) Avaliação de desempenho do sistema de recolha de resíduos, através de indicadores de desempenho sendo que, para tal se propõe um conjunto de indicadores que permita identificar situações de maior ou menor eficiência e eficácia do serviço de recolha, viabilizando indiretamente a posterior otimização de circuitos. Uma boa avaliação deve contemplar indicadores operacionais, económicos e ambientais.

Os indicadores operacionais representados na Tabela 10, são determinados para cada operação de recolha ou circuito. Estes indicadores operacionais são calculados através da razão entre as variáveis de cálculo operacionais e a quantidade de resíduos recolhida em cada circuito/recolha.

Tabela 10: Indicadores de desempenho operacionais

Indicador	Designação	Definição		Unidade
ITE	Tempo efetivo de recolha	$\left[\frac{TE}{QR} \right]$	Equação 42	h.t ⁻¹
ITT	Tempo total de recolha	$\left[\frac{TT}{QR} \right]$	Equação 43	h.t ⁻¹
ITD	Tempo de deslocação entre contentores	$\left[\frac{T_{transp.} + TLd}{QR} \right]$	Equação 44	h.t ⁻¹
IDE	Distância efectiva de recolha	$\left[\frac{DE}{QR} \right]$	Equação 45	km.t ⁻¹
IDT	Distância total de recolha	$\left[\frac{DT}{QR} \right]$	Equação 46	km.t ⁻¹
IDD	Distância de transporte e deposição	$\left[\frac{D_{transp.} + Dld}{QR} \right]$	Equação 47	km.t ⁻¹
ICC	Consumo de combustível	$\left[\frac{CC}{QR} \right]$	Equação 48	l.t ⁻¹
IVR	Velocidade efectiva de recolha	$\left[\frac{DE}{TE} \right]$	Equação 49	km.h ⁻¹
IVNP	Velocidade não produtiva	$\left[\frac{DT - DE}{TT - TE} \right]$	Equação 50	km.h ⁻¹

Indicador	Designação	Definição		Unidade
IPR	Produtividade da equipa de recolha - é o <i>ratio</i> entre a quantidade de resíduos recolhida e o produto entre número total de colaboradores (col) [Motorista + Cantoneiros] e o tempo efetivo de recolha (TE)	$\left[\frac{QR}{(NCol \times TE)} \right]$	Equação 51	t.col ⁻¹ .h ⁻¹
IFC	Fator de utilização dos contentores - é o <i>ratio</i> entre o volume de resíduos recolhido e a capacidade de deposição dos contentores recolhidos	$\left[\frac{QR/ME}{VT} \right] \times 100$	Equação 52	%
IFV	Fator de utilização das viaturas - é o <i>ratio</i> entre a o volume de resíduos recolhido e a capacidade de recolha da viatura	$\left[\frac{QR/ME}{CR \times ND} \right] \times 100$	Equação 53	%

Indicador de desempenho económico

O custo unitário da recolha resulta da razão entre a soma dos custos com colaboradores, combustível, contentores, viaturas e instalações, entre outros, e a quantidade de resíduos recolhida em cada circuito/recolha, apresentados na Equação 54. O custo do combustível pode ajustar-se à unidade temporal mais conveniente (dia, semana, mês ou ano).

$$ICR = \frac{(CUC \times NCol) + (CUM \times NCol) + (CUC \times CC) + CUV + CUI}{QR}$$

Equação 54

Onde:

ICR: custo unitário da recolha (€·t⁻¹);

CUC: custo unitário com colaboradores (€·colaborador⁻¹);

NCol: número de colaboradores (unidade);

CUM: custo unitário com manutenção (€);

CC: custo unitário com combustível (€·L⁻¹);

CUV: custo unitário com viatura (€.viatura⁻¹);

CUI: custo unitário com instalações (€);

QR: carga de resíduos (t.circuito⁻¹).

Indicador de desempenho ambiental

A emissão de gases com efeito de estufa (GEE) é um indicador relevante do desempenho ambiental do serviço de recolha de resíduos. O indicador emissão de dióxido de carbono (CO₂) avalia o desempenho ambiental das viaturas de recolha uma vez que considera a tipologia (gasolina, gasóleo ou gás natural) e o consumo do combustível em cada recolha/circuito. Este indicador quantifica o impacto negativo no meio ambiente por emissão de CO₂.

$$ICO_2 = \frac{(FCt \times PCIi2 \times 0,99 \times FEt)}{QR}$$

Equação 55

Onde:

ICO₂: quantidade de CO₂ emitido (CO₂)

t: tipo de combustível utilizado (gasolina, gasóleo ou GNC);

Fc: combustível do tipo i consumido (t) (no caso do gasóleo deverá multiplicar os litros pelo fator de conversão (FC) 0,835x10⁻³ e no caso do GNC deverá multiplicar os m³ pelo fator de conversão (FC) 0,84x10⁻³);

PCIt: poder calorífico Inferior do combustível do tipo i (GJ.t⁻¹) (no caso do gasóleo deverá ser assumido o valor 43,3 e no caso do gás natural 45,1);

0,99: fração oxidável de carbono no combustível;

FEt: fator de emissão de CO₂ (kg CO₂.GJ⁻¹) (74 no caso do gasóleo e 64,1 no caso do GNC);

QR: carga de resíduos (t.circuito⁻¹).

No caso da viatura ser movida a outro tipo de combustível, o valor do fator de emissão (FEt) do tipo de combustível em causa deve ser inserido na aplicação. A Equação do indicador nesse caso será a 56.

$$ICO_2 = \frac{\text{Emissão de CO}_2}{QR}$$

Equação 56

Onde:

$$Emissão\ de\ CO_2 = (FCt \times PCl_t \times 0,99 \times FEt)$$

Para poder determinar estes indicadores é necessário proceder a monitorização dos circuitos para obtenção das informações de base nomeadamente o tempo gasto, a distância percorrida, a quantidade de resíduos recolhidos e a quantidade de contentores recolhidos em cada circuito, para tal, desenvolveu-se uma Ficha de Campo.

3) Para poder calcular esses indicadores desenvolveu-se uma Ficha de Campo para recolher os dados de base relativos aos circuitos de recolha de RU a monitorizar com os quais se determinaram as variáveis de cálculo e posteriormente os indicadores.

Desenvolveu-se a Ficha de Campo apresentada na Figura 11, para proceder à recolha das informações de base.

A estrutura da Ficha de Campo adequa-se às especificidades do serviço e obedece a dois pressupostos:

- a) simplicidade de preenchimento - crucial em função da heterogeneidade dos colaboradores;
- b) alocação de uma ficha por viatura e por equipa.

Os campos que integram a Ficha de Campo, mostrados na Figura 11, viabilizam a aquisição da informação necessária para posterior avaliação operacional do serviço.

- a) data da realização da recolha;
- b) número do circuito realizado;
- c) número de contentores recolhidos na data indicada em a) (unidade);
- d) hora de saída da viatura do estaleiro (hh:mm);
- e) quilometragem da viatura à saída do estaleiro (km);
- f) hora da recolha do primeiro contentor (hh:mm);
- g) quilometragem da viatura na recolha do primeiro contentor (km);
- h) hora da recolha do último contentor (hh:mm);
- i) quilometragem da viatura na recolha do último contentor (km);
- j) hora da entrada no estaleiro (hh:mm);
- k) quilometragem da viatura no regresso ao estaleiro (km);
- l) quantidade de resíduos recolhida na data indicada em a) (t.);
- m) quantidade de Diesel consumida na data indicada em a) (litros).

Após o levantamento dos dados de base determinam-se as variáveis de cálculo. As variáveis de cálculo são calculadas através do tratamento dos dados de base obtidos pela Ficha de Campo, onde realiza-se a média dos parâmetros determinados.

Sequencialmente são determinados os indicadores utilizados na aplicação da avaliação de desempenho. Os indicadores de desempenho são definidos de acordo com a necessidade de cada sistema de gestão. Os indicadores são calculados através de uma operação matemática entre as variáveis de cálculo.

4.3. Apresentação análise e discussão dos resultados

4.3.1 Determinação do número de contentores

A determinação do número de contentores do município de Figueira de Castelo Rodrigo foi feita de acordo com os critérios descritos no Capítulo 3.

Para determinar a quantidade de contentores, definiu-se a quantidade de habitantes, Quadro 7, servida em cada circuito, para tal usaram-se os elementos contantes no Quadro 4 e os circuitos definidos pelo município,

Quadro 7: Número de habitantes por circuito do município de Figueira de Castelo Rodrigo

Circuito	Número de habitantes
1	4953
2	4797
3	3406
4	1565

Salienta-se que no Quadro 7 não foi considerada a população flutuante das embarcações hotel que atracam em Barca D'Alva.

Como todos os circuitos servem parte do município de Figueira de Castelo Rodrigo estimou-se que 25% da população total afeta a cada circuito.

No Quadro 8 apresentam-se os parâmetros determinados para o cálculo do número de contentores e a Equação utilizada.

Foram utilizados como dados complementares:

- A massa específica dos resíduos de $0,2 \text{ t.m}^{-3}$;
- Uma composição física de 60% (levou-se em consideração que 40% dos resíduos são recicláveis e 60% indiferenciados);
- Uma capacidade para os contentores de $1,1 \text{ m}^3$;
- Uma capitação de $2 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$;
- Uma frequência de recolha nos Circuitos 1 e 2 de duas vezes por semana, nos Circuitos 3 e 4 de uma vez por semana.

Quadro 8: Parâmetros determinados para o cálculo do número de contentores e a equação utilizada

Circuito	Produção total de RU	Produção diária de RU indiferenciados	Volume diário	Volume total	Volume diário a recolher	Volume total a recolher
Unidades	(t.dia ⁻¹)	(t.dia ⁻¹)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)
	Equação 5		Equação 6	Equação 6	Equação 7	Equação 7
1	9.906	5,94	29,72	49,53	118,87	198,12
2	9.594	5,76	28,79	47,07	191,88	115,12
3	6,82	4,09	20,44	34,06	136,24	81,74
4	3,13	1,88	9,39	15,65	78,25	46,95

No Quadro 9 apresenta-se a comparação dos contentores existentes em Figueira de Castelo Rodrigo e os contentores determinados pelo dimensionamento.

Quadro 9: Comparação entre os contentores existentes em Figueira de Castelo Rodrigo e contentores determinados

Circuito	Contentores existentes [un]	Número de contentores determinados Equação 8 [un]
1	129	121
2	134	117
3	153	83
4	158	48

Através da análise do Quadro 9, pode-se observar a coerência entre o número de contentores determinados para os circuitos 1 e 2 e os já encontrados no local, afirmando que o sistema está bem dimensionado para estes circuitos.

Ao contrário, nos circuitos 3 e 4 observa-se uma menor quantidade de contentores determinados e uma maior quantidade de contentores existentes. No circuito 3 conclui-se que o sistema está sobredimensionado, no circuito 4 a menor quantidade de contentores determinados está relacionado com o facto de não se ter entrado em linha de conta com a população flutuante correspondente as embarcações hotel que atracam no cais de Barca D'Alva.

4.3.2 Avaliação de desempenho no município de Figueira de Castelo Rodrigo

4.3.2.1 Recolha de dados de base

A estratégia de avaliação de desempenho do serviço de recolha de resíduos pressupõe a existência de dados operacionais. Os dados operacionais apresentados neste trabalho foram recolhidos com a utilização da Ficha de Campo. Nela foram preenchidas as colunas conforme modelo apresentado na Figura 11.

A avaliação de desempenho no município de Figueira de Castelo Rodrigo foi iniciada pela monitorização de 14 recolhas entre o dia 17 de outubro e o dia 12 novembro de 2016, os dados das monitorizações estão apresentados no Quadro 10.

Quadro 10: Dados de monitorização de recolha do município de Figueira de Castelo Rodrigo

Data	Circuito	Contentores	Saída Viatura		Primeiro Ponto de Recolha		Último Ponto de Recolha		Entrada Viatura		Quantidade Recolhida
			[Hora]	[km]	[Hora]	[km]	[Hora]	[km]	[Hora]	[km]	
17/10/2016	Rota 1	120	03:50	543209	04:00	543209	08:30	543310	10:15	543377	8,42
18/10/2016	Rota 2	106	03:50	543377	04:00	543377	08:00	543438	10:00	543511	6,98
19/10/2016	Rota 3	152	03:50	543511	04:00	543511	09:00	543597	11:00	543656	7,62
20/10/2016	Rota 1	53	03:50	543656	04:00	543650	05:30	543709	05:40	543711	AVARIA
01/11/2016	Rota 2	160	03:50	543863	04:00	543863	07:45	543950	09:30	544001	9,16
02/11/2016	Rota 3	148	03:50	544001	04:00	544001	08:00	544050	10:00	544112	8,36
03/11/2016	Rota 1	158	03:50	544112	04:00	544112	08:10	544200	10:00	544217	10
04/11/2016	Rota 2	140	03:50	544271	04:00	544271	08:00	544360	10:00	544419	7,18
05/11/2016	Rota 4	160	03:50	544419	04:00	544419	08:10	544480	10:00	544552	6,32
07/11/2016	Rota 1	164	03:50	544552	04:00	544552	08:45	544650	11:00	544720	9,4
09/11/2016	Rota 3	160	03:50	544720	04:00	544720	09:30	544800	11:15	544855	9,96
10/11/2016	Rota 1	150	03:50	544855	04:00	544855	08:30	544950	10:50	545014	7,68
11/11/2016	Rota 2	130	03:50	545014	04:00	545014	10:00	545090	11:30	545145	5,76
12/11/2016	Rota 4	156	03:50	545145	04:00	545145	09:30	545200	10:45	545276	6,72

4.3.2.2 Determinação das variáveis de cálculo

Após o levantamento dos dados de base foi realizada a média do tempo gasto na realização de cada circuito, da distância percorrida e da quantidade de RU recolhida para cada rota, dados apresentados no Quadro 11.

Quadro 11: Média do tempo gasto, da distância percorrida e da quantidade de RU nos Circuitos 1, 2, 3 e 4 no município de Figueira de Castelo Rodrigo

Circuito	Média do tempo total gasto [TE]	Média da distância total percorrida [DE]	Média da quantidade de RU recolhida [QR]
[-]	[h]	[km]	[t]
1	1,83	131	8,87
2	1,98	138	7,27
3	2,06	130	8,64
4	1,71	132	6,52

A média dos dados obtidos através do preenchimento das Fichas de Campo é posteriormente organizada e utilizada na obtenção de três variáveis:

- a) Tempo efetivo (Te);
- b) Distância efetiva (De);
- c) Quantidade recolhida (QR).

Definidas as variáveis de cálculo, estabelece-se os indicadores que serão utilizados na avaliação de desempenho no sistema de gestão de Figueira de Castelo Rodrigo.

4.3.2.3 Determinação dos Indicadores de Desempenho

Os indicadores foram selecionados dentro do conjunto de indicadores apresentados na metodologia atendendo à necessidade do município. Selecionou-se três indicadores para aplicar no estudo de caso de Figueira de Castelo Rodrigo, visto que o sistema de gestão já está em funcionamento e que a partir dos dados obtidos pode-se determinar os resultados. Os indicadores e as equações definidas para determiná-los estão apresentados no Quadro 12.

Sendo assim, os demais indicadores apresentados na metodologia não foram aplicados devido ao fato de não responderem às pretensões da entidade gestora.

Quadro 12: Indicadores de desempenho aplicados na validação da metodologia para o município de Figueira de Castelo Rodrigo

Indicador	Equação
Tempo efetivo de recolha	43
Distância efetiva de recolha	46
Produtividade da recolha	51

Definindo-se os indicadores e aplicadas as equações com o resultado das variáveis de cálculo obtém-se os indicadores de desempenho.

No Quadro 13 apresentam-se os resultados dos indicadores de desempenho.

Quadro 13: Desempenho global dos circuitos de recolha de resíduos no município de Figueira de Castelo Rodrigo

Circuito	Tempo Efetivo [h t ⁻¹]	Distância Efetiva [km t ⁻¹]	Produtividade da recolha [t km ⁻¹ h ⁻¹]
1	0,21	14,77	0,037
2	0,27	18,98	0,027
3	0,24	15,05	0,032
4	0,26	20,25	0,029

Na aplicação dos indicadores os resultados destacam a maior produtividade do circuito 1 (predominantemente urbana) em consequência de menor esforço de recolha (distância efetiva). O circuito 2 serve as zonas de maior dispersão territorial e apresenta menor produtividade em resultado o segundo maior esforço de recolha (distância efetiva). O desempenho dos circuitos 3 e 4 é semelhante nos três indicadores de desempenho.

Em resultado da concentração de pontos de recolha e menor distância o circuito 3 apresenta melhor desempenho segundo os indicadores aplicados. Em oposição, a menor produtividade do circuito 2 acontece devido as áreas de coleta dos resíduos serem em zonas rurais e de baixa densidade populacional onde a produção é dispersa e obriga a maiores distâncias.

Apesar dos circuitos 1 e 4 abrangerem o recolhimento de contentores em Figueira de Castelo Rodrigo, estas apresentam produtividade e distâncias efetivas em linha com o circuito 2 (zonas rurais). Este menor desempenho deriva da realização de recolhas no cais de Barca d`Alva quando atracam mais truristas. A análise integrada dos circuitos 2 e 4 indica que sua produtividade é afetada pela produção de resíduos em pontos afastados e não pela dispersão da produção ao longo do percurso. Estes circuitos obrigam a percorrer enormes distâncias e tempos em vazio para recolher a produção concentrada em Barca d`Alva.

A aplicação de parte da metodologia realça a necessidade de regulamentar a gestão de resíduos no município de Figueira de Castelo Rodrigo e nas regiões atendidas pelo sistema de recolha.

4 CONCLUSÃO

O Modelo de Apoio à Tomada de Decisão na Recolha de Resíduos Urbanos apresenta uma metodologia para a gestão de RU que pode ser quer em municípios pequenos quer em grandes cidades, tanto em Portugal como no estrangeiro, independentemente das diferenças existentes, a ferramenta busca adequar-se a todos os sistemas de gestão de resíduos urbanos, sendo um instrumento de monitorização e de avaliação de desempenho do serviço, nas vertentes ambientais, económicos e operacionais.

A metodologia mostra como encontrar os dados necessários para dimensionar um sistema de recolha de resíduos, desde estimar a produção de RU e definir todos os requisitos para o circuito de recolha funcionar de forma eficaz e eficiente.

Define as variáveis relevantes quanto ao aspeto operacional, económico e ambiental e aplica uma série de indicadores para avaliar o sistema de gestão. A maioria dos modelos encontrados não tem em consideração o desempenho ambiental que é importante para a melhoria da performance dos sistemas de gestão de resíduos urbanos.

A aplicação do indicador ambiental, que está relacionado com a quantidade de resíduos recolhidos e o tipo de combustível utilizado para o transporte, permite quantificar a emissão de CO₂.

Este modelo permite a análise do desempenho dos sistema de gestão, analisa tendências, aponta ganhos ou perdas de eficiência e eficácia nas diferentes componentes operacionais do sistema permitindo planejar e delimitar estratégias de investimento. Avalia a qualidade do serviço prestado aos utilizadores, avalia a sustentabilidade económica e ambiental dos sistemas. Este modelo, possibilita ainda construir cenários de implementação de novas políticas e estratégias de gestão.

A aplicação da metodologia promove transparência nas decisões, dado que a avaliação de desempenho é definida por um mecanismo de fácil e controle dos dados.

Nesta dissertação foi aplicada parte da metodologia para o município de Figueira de Castelo Rodrigo onde pode-se comparar a quantidade de contentores perante

a aplicação das equações e da metodologia proposta juntamente com a quantidade de contentores reias nos locais de recolha. Também pode-se através da monitorização de recolhas a aplicação de indicadores de desempenho para a avaliação do sistema de gestão.

Muitos modelos de avaliação que existem, exigem mais custos necessitando na sua aplicação de um maior número de trabalhadores mais especializados. Esta metodologia torna-se mais versátil, pois a recolha de dados é realizada pelo condutor do veículo sendo o seu tratamento feito, posteriormente por trabalhadores específicos.

A metodologia, aplica-se a diferentes realidades, necessitando apenas de algumas adequações.

As entidades gestoras podem usar esta metodologia, para proceder à monitorização e avaliação de desempenho, promovendo a melhoria dos serviços e caso seja necessário conter os resultados de eficiência e eficácia, viabilizando a regulação do sistema de gestão de resíduos urbanos do ponto de vista técnico.

Uma avaliação feita por indicadores é passível de comparações, permitindo a realização de recomendações permanentes, tendo em vista a melhoria do serviço. Permitindo a comparação de resultados, este método permite a adoção, por parte das entidades gestoras, de estratégias políticas para os aspectos mais suscetíveis no período determinado de avaliação.

Com efeito, a metodologia de avaliação permite obter de forma sistemática relatórios de avaliação de desempenho por meio dos indicadores.

Para que a implementação da metodologia seja eficaz, as entidades gestoras devem adotar e consolidar uma estratégia de recolha e registro das informações de base para que a metodologia seja viável.

Caso não haja esta estratégia por parte da entidade gestora na manutenção de uma infra-estrutura permanente de recolha e armazenamento de informação de base, pode inviabilizar a utilização da metodologia.

Para responder a este problema deve-se informatizar e automatizar a recolha e o registro o tratamento das informações de base. Sendo assim, este método permite eliminar/diminuir o erro humano no registo dos dados, estabelecer rotinas de aquisição e controlo da informação em formato digital, utilizar bases

de dados de boa dimensão e reduzir o esforço das entidades gestoras na sua obtenção.

Sendo aconselhável o desenvolvimento de um software de suporte a metodologia. De acordo com as solicitações ou necessidades das entidades interessadas nos resultados, a informatização da metodologia proporcionará em tempo real o cálculo de indicadores de desempenho e perfis ambientais e a elaboração de relatórios de avaliação de desempenho.

Por último, propõe-se a adoção da metodologia como ferramenta de apoio para a aprovação de contratos de prestação de serviços de recolha de resíduos urbanos entre o setor público e privado. A aplicação da metodologia avalia a preocupação ambiental dos projetos concorrentes com a recolha e transporte de resíduos urbanos, com base em critérios ambientais e de prevenção de resíduos.

BIBLIOGRAFIA

Apaydin, Omer & Gönüllü, Mustafa. (2011). Route time estimation of solid waste collection vehicles based on population density. *Global Nest Journal*. 13.

Decreto-Lei n.º 67/2014, de 7 de maio.

Decreto-Lei n.º 267/2009 de 29 de Setembro.

Decreto-Lei n.º 173/2015, de 25 de agosto.

Decreto-lei n.º 178/2006 de 5 de setembro aprova o regime geral da gestão de resíduos (RGGR), na redação dada pelo decreto-lei n.º 73/2011, de 17 de junho (diploma RGGR).

Diretiva n.º 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro (DQR).

E Kanchanabhan, T & Abbas Mohaideen, J & Srinivasan, S & Lenin Kalyana Sundaram, V. (2011). Optimum municipal solid waste collection using geographical information system (GIS) and vehicle tracking for Pallavapuram municipality. *Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*. 29. 323-39. 10.1177/0734242X10366272.

ERSAR e LNEC, 2008. Guia de Avaliação de Qualidade dos Serviços de Água e Resíduos Prestados aos Utilizadores. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

ERSAR e LNEC, 2009. Guia de Avaliação de Qualidade dos Serviços de Água e Resíduos Prestados aos Utilizadores. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Disponível em: <http://files.isec.pt/DOCUMENTOS/SERVICOS/BIBLIO/Documentos%20de%20>

acesso%20remoto/Guia-de-avaliacao-da-qualidade-dos-servi%C3%A7os-de-aguas-e-residuos-prestados%20aos-utilizadores-2ed._Alegre.pdf. Acesso em 03 de abril de 2018.

ERSAR, 2012. Relatório Anual dos Serviços de Água e Resíduos. Disponível em: <www.ersar.pt>, acedido em 11 de setembro de 2018.

Ferreira, F. et al. (2017) 'Assessment strategies for municipal selective waste collection schemes', *Waste Management*, 59, pp. 3–13. doi: 10.1016/j.wasman.2016.10.044.

Levy, J. e Cabeças, A., 2006. Resíduos Sólidos Urbanos – Princípios e Processos. AEPISA – Associação das Empresas Portuguesas para o Sector do Ambiente.

Malinauskaite, J. et al. (2017) 'Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe', *Energy*, 141, pp. 2013–2044. doi: 10.1016/j.energy.2017.11.128.

Martinho, M., 2005. Gestão de Resíduos Sólidos. Módulo III – Sistemas de Recolha e Transporte de Resíduos. Textos de apoio à Disciplina de Gestão de Resíduos Sólidos da Licenciatura em Engenharia do Ambiente, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

Martinho, M.; Gonçalves, M. (2000) *Gestão de resíduos*; Universidade Aberta; Lisboa

MONTEIRO, E., 2013. Recolha Seletiva de Resíduos Urbanos: Caso de Estudo de Aveiro. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente apresentada à Universidade de Aveiro.

Pereira Silva, C. F. T. C. Avaliação do desempenho de sistemas de recolha de resíduos. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Vila Real, 2012.

Puche Regaliza, J. C. et al. (no date) 'Key factors in levels of public satisfaction with urban waste collection in a northern Spain city', *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20(3), pp. 1842–1856. doi: 10.1007/s10163-018-0713-x.

RASARP 2016 - Volume 1 - Caraterização do setor de águas e resíduos.

Relatório & Contas 2015.

Disponível em: www.resiestrela.pt/media/2014/10/Relat%C3%B3rio-de-Gest%C3%A3o-2015.pdf. Acesso em 26 de julho de 2018.

Roberta Fachine and Luiz Roberto Santos Moraes (2014) 'Indicadores De Sustentabilidade Como Instrumentos Para Avaliação De Programas De Coleta Seletiva De Resíduos Sólidos Urbanos E Sua Aplicação Na Cidade De Salvador-Ba', *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, Vol 2, Iss 1, Pp 87-104 (2014), (1), p. 87. doi: 10.17565/gesta.v2i1.9223.

SANTOS, P., 2011. Avaliação de Circuitos de Recolha de Resíduos Urbanos: Indicadores Operacionais. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, perfil Engenharia Sanitária, apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Silva, Maria Elisabete Ferreira; Ferreira, Bruna Sofia Teixeira & Brás, Isabel Paula Lopes (2015). Indicadores de Qualidade na Prestação de Serviços de Gestão de Resíduos Urbanos – Caso de Estudo. *Millenium*, n.º 48 (jun/dez). Pp. 91-109.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1993). *Integrated Solid Waste Management : engineering principles and management issues*. McGraw-Hill.

TEIXEIRA, C., 2010. Um Modelo de Avaliação de Desempenho de Sistemas de Recolha de Resíduos Urbanos. Avaliação Operacional, Económica e Ambiental. Dissertação de Doutoramento em Ciências do Ambiente apresentada à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Teixeira, C. A. et al. (2014) 'Statistical analysis in MSW collection performance

assessment', Waste Management, 34, pp. 1584–1594. doi: 10.1016/j.wasman.2014.04.007.

Teixeira, Bruna Sofia, F; Maria Elisabete Ferreira, S; Isabel Paula Lopes, B. Indicadores de Qualidade na Prestação de Serviços de Gestão de Resíduos Urbanos – Caso de Estudo. Millenium, Vol 0, Iss 49, Pp 91-109 (2016). 49, 91, 2016. ISSN: 0873-3015.