

Anexo 5

Custos de Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos

Aveiro, Março de 2011

Disponível em: http://www.ua.pt/ii/ocupacao_dispersa

Relator:

Pedro Gomes (serranogomes@ua.pt)

Coordenação da tarefa:

Jorge Carvalho

Membros da Equipa envolvidos na Tarefa:

Jorge Carvalho (SACSJP, GOVCOPP, UA)

Manuel Arlindo Matos (DAO, CESAM, UA)

Pedro Gomes (SACSJP, GOVCOPP, UA)

Investigador Responsável pelo Projecto

Jorge Carvalho, Universidade de Aveiro

Instituições Participantes:



Financiamento:

Por Fundos FEDER através do Programa Operacional Factores de Competitividade – COMPETE e por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do projecto FCOMP-01/0124/FEDER/007040



1. Custos de Rede de Gestão de Resíduos Urbanos

1.1. Visão global e selecção de sistemas-padrão

As operações e componentes constituindo o modelo de gestão de Resíduos Urbanos (RU) estão representados no esquema seguinte:

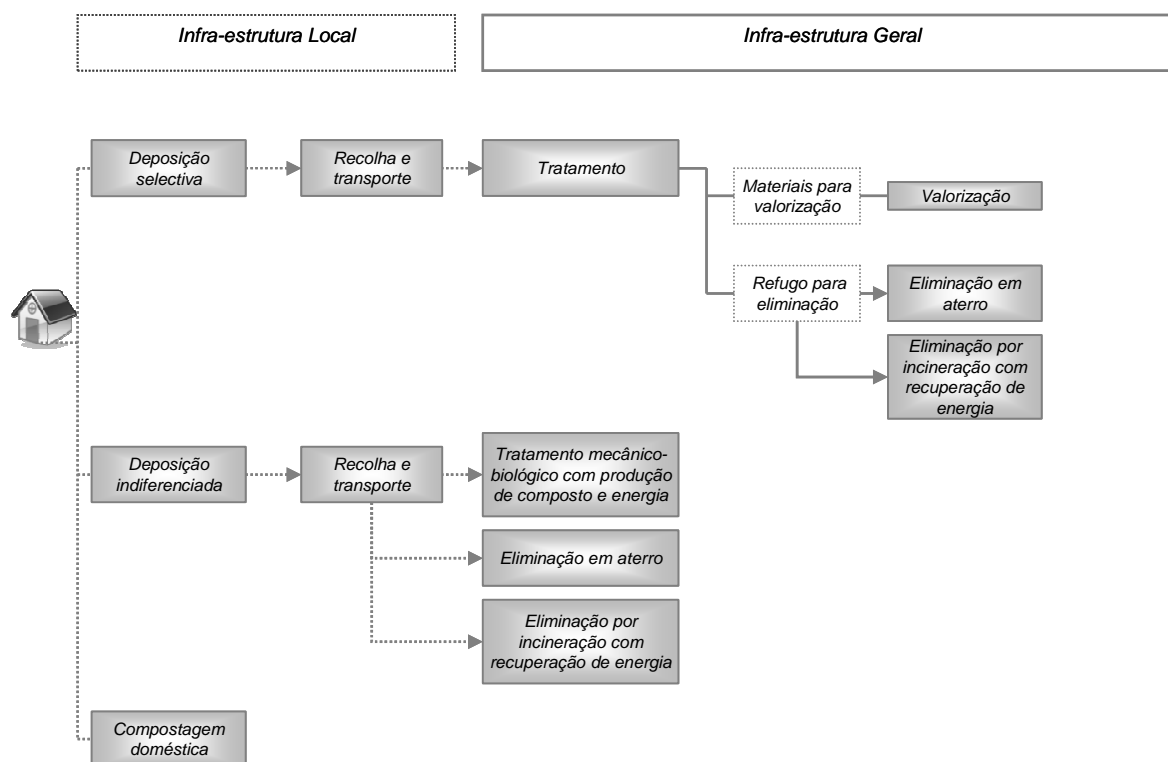


Figura 1 – Rede de Gestão de Resíduos Urbanos: operações e componentes

Adoptaram-se os seguintes **critérios de qualidade**:

- Admite-se que em determinados contextos locais não se procederá à recolha de bio-resíduos, que são segregados na origem e valorizados em contexto doméstico (para a produção de composto, para aplicação local no solo);
- A recolha de resíduos indiferenciados contendo bio-resíduos deverá ter uma frequência mínima bissemanal, de forma a evitar a eclosão de larvas e outros problemas de salubridade¹;

¹ Segundo Lima (2009).

- As capitações de resíduos por destino são definidas em função do cenário moderado para o ano de 2016 do Plano Estratégico de Resíduos Sólidos Urbanos II 2007-2016.

Adoptou-se uma **capitação** total de resíduos urbanos de 24,5 kg/fogo/semana², que conhece os seguintes destinos:

- 19% é submetida a recolha selectiva de materiais, tendo-se assumido que se reparte por papel/cartão, plástico/metall e vidro na mesma proporção da constituição física dos RU³;
- na recolha indiferenciada incluindo bio-resíduos, 23% é eliminada em aterro, 21% eliminada por incineração com recuperação de energia e 37% valorizada em tratamento mecânico-biológico, com produção de composto e biogás por digestão anaeróbia;
- na recolha indiferenciada excluindo bio-resíduos, 52% é eliminada por incineração com recuperação de energia e 48% eliminada em aterro.

Esta repartição resulta nas capitações apresentadas na Tabela 1:

Tabela 1 – Capitação de RU por destino

Material recolhido por destino	Capitação no sistema incluindo bio-resíduos na recolha indiferenciada (kg/fogo/semana)	Capitação no sistema excluindo bio-resíduos na recolha indiferenciada (kg/fogo/semana)
Papel/cartão para valorização	2,6	2,6
Plástico/metall para valorização	1,5	1,5
Vidro para valorização	0,6	0,6
Resíduos indiferenciados para eliminação em aterro	5,6	5,8
Resíduos indiferenciados para eliminação por incineração com recuperação de energia	5,1	5,3
Resíduos indiferenciados para tratamento mecânico-biológico com produção de composto e biogás	9,1	0
Bio-resíduos para compostagem doméstica	0	8,7
TOTAL	24,5	24,5

Seleccionam-se, então, **sistemas-padrão**:

² A partir da capitação anual *per capita* em 2009 (APA, 2010).

³ APA (s.d.)

- todos eles com recolha selectiva de papel/cartão, plástico/metal e vidro;
- distinguindo-se por incluírem recolha de bio-resíduos juntamente com indiferenciados ou por exigirem, em alternativa, compostagem doméstica de toda a matéria orgânica produzida;
- distinguindo-se ainda, como à frente se verá, pela distância entre contentores e frequência de recolha.

Para calcular os respectivos custos, que se pretendem em €/fogo/ano:

- Da Infra-estrutura Geral (assumida conforme Figura 1):
 - interessa conhecer o custo total (investimento e conservação e gestão) do tratamento de resíduos indiferenciados incluindo bio-resíduos e o custo excluindo bio-resíduos;
 - não é necessário considerar o custo correspondente aos resíduos de recolha selectiva, por ser idêntico em ambos sistemas.
- Da Infra-estrutura Local interessa conhecer:
 - custo da recolha selectiva de vidro;
 - custo da recolha selectiva de papel/cartão e plástico/metal⁴;
 - custo da recolha de indiferenciados incluindo bio-resíduos,
 - custo da recolha de indiferenciados excluindo bio-resíduos;
 - custo da compostagem doméstica.

1.1.1. Custos por componentes⁵

Abordam-se, então, as componentes, uma a uma, especificando soluções a adoptar e procurando especificar os respectivos custos.

Custos da Infra-estrutura Geral

Os custos da infra-estrutura geral associados à recolha indiferenciada de resíduos (CIG, que se pretendem /fogo) incluem:

$$CIG = Cmb + Cin + Ca$$

sendo:

Cmb – custo de tratamento mecânico-biológico com produção de composto e biogás

Cin – custo de eliminação por incineração com recuperação de energia

⁴ Perante a reduzida capitação de papel/cartão e de plástico/metal e a constatação de que, dada a relevância dos custos de recolha e transporte, a redução da frequência de recolha acarreta uma diminuição de custos, optou-se por agregar a recolha selectiva destes dois materiais.

⁵ Os custos reflectem uma taxa de actualização financeira de 5% para um período de 30 anos. Para maior detalhe, consultar os pontos 3.1 e 3.2 da publicação final do Projecto de Investigação.

Ca – custo de eliminação aterro

Para o cálculo dos custos consideraram-se infra-estruturas existentes, as quais são habitualmente de âmbito regional, com capacidade para servir centenas de milhar ou milhões de habitantes.

Custo de tratamento mecânico-biológico (Cmb)

Infra-estrutura de digestão anaeróbia com produção de composto e biogás com capacidade de processamento anual de 60.000 toneladas de resíduos por ano⁶, com uma vida útil de 20 anos⁷.

Tabela 2 – Custo de tratamento mecânico-biológico (Cmb)

Componente	C_i^8 €	V anos	C_g^9	fV	fG	CI €/30 anos	CG €/30 anos	CT €/30 anos	CT €/kg/30 anos
Unidade de digestão anaeróbia	28953894	20	1557606	1,26	16,14	36516673	25141433	61658106	1,028

Considerando a capitação anual por processo de gestão, patente na Tabela 1, alcançam-se custos por fogo ao longo de 30 anos:

- No sistema de **recolha indiferenciada incluindo bio-resíduos**,
 $Cmb = 1,028 \text{ €/kg} * (9,1 \text{ kg/fogo/semana} * 52) = \mathbf{484,4 \text{ €/fogo}}$
- No sistema de **recolha indiferenciada excluindo bio-resíduos** não há lugar a operações de valorização orgânica de resíduos, pois toda a matéria orgânica é submetida a compostagem doméstica, correspondendo a um custo de **0 €/fogo**.

Custo de incineração com recuperação de energia (Cin)

Infra-estrutura de incineração com recuperação de energia com capacidade de processamento anual de 380.000 toneladas de resíduos¹⁰, com um tempo de vida útil de 20 anos¹¹.

⁶ Capacidade de referência utilizada por Teixeira (2004) que, no cenário aqui utilizado para a recolha incluindo bio-resíduos (Tabela 1) servirá mais de trezentos mil habitantes.

⁷ Tempo de vida útil em Le Bozec (2004).

⁸ Custo resultante da aplicação da função de custos avançada por Tsilemou e Panagiotakopoulos (2006: 318) para uma capacidade anual de 60 000 toneladas, actualizado para preços de 2009.

⁹ Custo resultante da aplicação da função de custos avançada por Tsilemou e Panagiotakopoulos (2006: 318) para uma capacidade anual de 60 000 toneladas, actualizado para preços de 2009.

¹⁰ Capacidade de referência utilizada por Teixeira (2004) que, no cenário aqui utilizado (Tabela 1) para a recolha incluindo bio-resíduos servirá mais de três milhões e meio de habitantes.

¹¹ Tempo de vida útil em Koneczny e Pennington (2004).

Tabela 3 – Custo de incineração com recuperação de energia (Cin)

Componente	Ci^{12} €	V anos	Cg^{13}	fV	fG	CI €/30 anos	CG €/30 anos	CT €/30 anos	CT €/kg/30 anos
Unidade de incineração com recuperação de energia	163510283	20	633424 3	1,26	16,1 4	20621929 3	10224148 9	30846078 2	0,812

Considerando a capitação anual por processo de gestão, patente na Tabela 1, os custos por fogo para um horizonte de 30 anos:

- No sistema de **recolha indiferenciada incluindo bio-resíduos:**

$$Cin = 0,812 \text{ €/kg} * (5,1 \text{ kg/fogo/semana} * 52) = \mathbf{217,2 \text{ €/fogo}}$$

- No sistema de **recolha indiferenciada excluindo bio-resíduos:**

$$Cin = 0,812 \text{ €/kg} * (5,3 \text{ kg/fogo/semana} * 52) = \mathbf{222,3 \text{ €/fogo}}$$

Custo de deposição em aterro (Ca)

Infra-estrutura com capacidade de processamento total de 175.000 toneladas de resíduos¹⁴, com tempo de vida útil de 10 anos, assumindo-se capacidade anual de 17.500 toneladas.

Tabela 4 – Custo de deposição em aterro (Ca)

Componente	Ci^{15} €	V anos	Cg^{16}	fV	fG	CI €/30 anos	CG €/30 anos	CT €/30 anos	CT €/kg/30 anos
Aterro	2369858	10	104924	1,99	16,14	4717919	1693586	6411505	0,366

Considerando a capitação anual por processo de gestão, patente na Tabela 1, os custos por fogo para um horizonte de 30 anos são:

- No sistema de **recolha indiferenciada incluindo bio-resíduos:**

$$Ca = 0,366 \text{ €/kg} * (5,6 \text{ €/fogo/semana} * 52) = \mathbf{107,4 \text{ €/fogo}}$$

- No sistema de **recolha indiferenciada excluindo bio-resíduos:**

$$Ca = 0,366 \text{ €/kg} * (5,8 \text{ €/fogo/semana} * 52) = \mathbf{110,2 \text{ €/fogo}}$$

¹² Custo resultante da aplicação da função de custos avançada por Tsilemou e Panagiotakopoulos (2006: 318) para uma capacidade anual de 380 000 toneladas, actualizado para preços de 2009.

¹³ Custo resultante da aplicação da função de custos avançada por Tsilemou e Panagiotakopoulos (2006: 318) para uma capacidade anual de 380 000 toneladas, actualizado para preços de 2009.

¹⁴ Capacidade de referência utilizada por Hogg (2002) que, no cenário aqui utilizado para a recolha incluindo bio-resíduos (Tabela 1) servirá cerca de milhão e meio de habitantes.

¹⁵ Custo resultante da aplicação da função de custos avançada por Tsilemou e Panagiotakopoulos (2006: 318) para uma capacidade anual de 17 500 toneladas, actualizado para preços de 2009.

¹⁶ Custo resultante da aplicação da função de custos avançada por Tsilemou e Panagiotakopoulos (2006: 318) para uma capacidade anual de 17 500 toneladas, actualizado para preços de 2009.

Custo de infra-estrutura geral (CIG), em €/fogo:

Tabela 5 – Custo de infra-estrutura geral (CIG)

Sistema	Custo (€/fogo)			
	Cmb	Cin	Ca	CIG
Sistema incluindo bio-resíduos	484,4	217,2	107,4	808,9
Sistema excluindo bio-resíduos	0	222,3	110,2	332,5

Custo da Infra-estrutura Local (alocação ou deposição, recolha e transporte)

Os custos de deposição e recolha, CDR (que se pretendem /fogo para um horizonte de 30 anos) incluem a deposição dos resíduos (CD) e a sua recolha e transporte (CT) até a um local de depósito, podendo ser expressos pela fórmula:

$$CDR = CD + CT.$$

O custo de deposição é:

$$CD = D.Cd/N,$$

sendo:

D – número de contentores (contentor)

Cd – custo de um contentor, incluindo investimento e gestão e conservação, ao longo de 30 anos (€/contentor)

N – número de fogos (fogo)

O custo de recolha e transporte correspondente a um percurso (€/percurso) ao longo de 30 anos é:

$$CT = [(K * Cv + T * Ce + K' * Cv + T' * Ce) * 52 * F] / N,$$

sendo:

K – extensão do percurso de recolha (km/percurso)

K' – extensão do percurso entre o último local de recolha e o local de depósito do veículo (km/percurso)

Cv – custo de veículo, por km ao longo de 30 anos, incluindo investimento e gestão e conservação (€/km)

T – duração de recolha do percurso, em horas, que se assume função da extensão do percurso e do número de contentores a carregar e descarregar (h/percurso)

T' – duração da viagem de ida e volta ao local de descarga do veículo, incluindo o tempo de descarga (h/percurso)

Ce – custo horário de uma equipa ao longo de 30 anos (€/h/equipa)

F – frequência semanal de recolha (percurso/semana)

A extensão do percurso inclui o percurso interno à UTB (K) e o percurso da UTB ao local de depósito (K'). Este último depende apenas da localização da UTB e, por conseguinte, será aqui pré-fixado e igual para todos os cenários, porque neste estudo apenas se pretendem diferenciar os custos associáveis a diferentes formas urbanas.

O tempo de recolha (T, expresso em horas) pode ser calculado em função da extensão do percurso e do número de contentores a carregar e descarregar:

$$T = Tk * K + Td * D,$$

sendo:

- Tk – tempo que um veículo demora a percorrer um quilómetro (h/km)
- Td – tempo de carga e descarga de um contentor (h/contentor)

O número de contentores (D) que deverá existir num percurso depende, naturalmente:

- da quantidade de resíduos a recolher = $R_s * N$, sendo R_s a capitação semanal de um fogo (kg/fogo/semana) e N o número de fogos;
- e da organização da recolha, a qual depende da capacidade dos contentores (V_d , em kg/contentor), do respectivo factor de utilização (U_d) e da frequência semanal da recolha (F).

Considerando um acréscimo de 20 % ao número de contentores exigido pela capitação da área, para dar resposta a vicissitudes do desenho do circuito, o número de depósitos pode então traduzir-se na seguinte fórmula:

$$D = (R_s * N / U_d * V_d * F) * 1.2$$

O custo de deposição e recolha de Resíduos Urbanos (em €/fogo) será então:

$$CDR = CD + CT \Leftrightarrow$$

$$CDR = \left(\frac{R_s.Cd.1,2}{U_d.V_d} \right) \cdot \frac{1}{F} + [(Cv.52) + (Tk.Ce.52)] \cdot \frac{K.F}{N} + [(Cv.K' + T'.Ce).52] \cdot \frac{F}{N} + \frac{Td.Rs.Ce.62,4}{U_d.V_d}$$

Esta fórmula exprime um custo que apenas depende de N (número de fogos ou equivalentes a servir), de K (extensão do percurso interno à UTB) e de F (frequência semanal da recolha), sendo que os restantes factores, a seguir elencados, se podem (com voluntarismo) exprimir por constantes:

- R_s – capitação média semanal de um fogo (kg/fogo/semana)
- **Cd – custo de um contentor ao longo de 30 anos, incluindo investimento e gestão e conservação (€/contentor)**
- U_d – factor de utilização dos contentores
- V_d – capacidade mássica dos contentores (kg/contentor)
- **Cv – custo de veículo ao longo de 30 anos, por km, incluindo investimento e gestão e conservação (€/km)**
- Tk – tempo que um veículo demora a percorrer um quilómetro (horas/km)
- **Ce – custo horário de uma equipa ao longo de 30 anos (€/hora/equipa)**
- Td – tempo de carga e descarga de um contentor (horas/contentor)
- K' – extensão do percurso entre o último local de recolha e o local de descarga do veículo (km/percurso)

- T' – duração da viagem de ida e volta ao local de descarga do veículo, incluindo o tempo de descarga (h/percurso)

Tais constantes serão à frente fixadas, distinguindo-se recolha de indiferenciados incluindo bio-resíduos, recolha de indiferenciados excluindo bio-resíduos e recolha selectiva de vidro e de papel/cartão e plástico/metálico.

Para a generalidade dos factores, os valores fixados assentam em consultas ao mercado e em opiniões eruditas.

Há que acrescentar que para alguns destes factores, perante soluções alternativas, foram tomadas opções que se pretendem correntes e racionais, mas com consequências normativas significativas nos sistemas de gestão a considerar. Em concreto:

- A dimensão dos contentores, podendo ser variável, fixou-se na de 800 litros para a recolha indiferenciada e na de 2500 litros para a recolha selectiva.
- Considerou-se que a recolha ocorreria quando, em média, os contentores estivessem 70% cheios.
- Para serviço de uma população, considerando uma produção fixa de resíduos/fogo, decorre destes dois factores uma frequência de recolha combinada (inversamente) com um número de contentores.
- A distribuição da população, a extensão a percorrer ao longo do percurso e o número de contentores determinam, em cada caso, o distanciamento dos contentores.

Capitação semanal de um fogo (Rs)

As capitações semanais de um fogo para a recolha indiferenciada e selectiva em cada um dos sistemas foram já apresentadas na Tabela 1.

As capitações da recolha indiferenciada correspondem ao somatório dos resíduos eliminados em aterro, por incineração com recuperação de energia e os sujeitos a tratamento mecânico e biológico: **19,8 kg/fogo/semana** na recolha incluindo bio-resíduos e **11 kg/fogo/semana** na recolha excluindo bio-resíduos.

Custo de um contentor ao longo de 30 anos (Cd)

Para um contentor de 800 litros, afecto à **recolha indiferenciada**, com uma vida útil de 10 anos¹⁷, encontraram-se as seguintes fontes:

¹⁷ Tempo médio de vida útil apontado por Gomes, Matos *et al.* (2008) e Rhoma, Zhang *et al.* (2010). Lavita (2008) aponta, por seu turno, para uma vida útil de 8 anos.

Tabela 6 – Custo de investimento inicial (Ci) de um contentor para recolha indiferenciada

Fonte	Ano	Inclui	Ci (€ a preços de 2009)
Lavita (2008)	2008	Contentor 800 l	109
Gomes <i>et al.</i> (2007); Lopes (2008)	2008	Contentor 800 l	111,9
Serviços Municipalizados da C. M.de Angra do Heroísmo ¹⁸	2009	Contentor de 770 l	187,5
Município de Anadia	2009	Contentor em polietileno de 800 l	125
Município do Montijo	2010	Contentor de 800 l	149
AMARSUL - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A.	2009	Contentor de 800 l	122,6
AMARSUL	2009	Contentor de 800 l	123

O valor médio de Ci é de 131,16€, que se arredonda, para simplificação, para 130€.

Tabela 7 – Custo de um contentor para recolha indiferenciada, ao longo de 30 anos

Componente	Ci €	V anos	Cg¹⁹ (35% Ci)	fV	fG	CI €/30 anos	CG €/30 anos	CT €/30 anos
Contentor para recolha indiferenciada	130	10	45,5	1,99	16,14	259	734	993

Para um contentor de 2500 litros, afecto à **recolha selectiva de vidro**, com uma vida útil de 10 anos²⁰:

Tabela 8 – Custo de investimento inicial (Ci) de um contentor para recolha selectiva de vidro

Fonte	Ano	Inclui	Ci (€ a preços de 2009)
Lavita (2008)	2008	Contentor tipo cyclea 2,5 m3	396,38
Valnor	2009	Contentor de ecoponto	401,03
Ecolezíria	2008	Contentor de 2,5 m3	431,07
Braval	2009	Contentor de ecoponto de superfície	425,67
Valnor	2010	Contentor de ecoponto	395,78
Amarsul	2008	Contentor de ecoponto cyclea de 2,5 m3	440,97
Município da Mealhada	2009	Contentor de ecoponto	423,67

O valor médio de Ci é de 419,70€, que se arredonda, para simplificação, para 420€.

¹⁸ A informação relativa a municípios, empresas municipais ou intermunicipais e afins foi retirada do Portal dos Contratos Públicos do Observatório das Obras Públicas (<http://www.base.gov.pt>).

¹⁹ Fração do custo de investimento gasto, anualmente, na manutenção e reparação de contentores, de acordo com Goulart (2003 *apud* Gomes, Matos *et al.*, 2008). Rhoma *et al.* (2010) e Lavita (2008) sugerem custos de manutenção de uma ordem de grandeza bastante menor e, aparentemente, excessivamente reduzida (pouco superiores a 50 cêntimos por ano, por contentor); no entanto, a título de exemplo, este último autor considera ainda outros custos de gestão e conservação, como os de seguros, possivelmente já contemplados por Goulart. Em consonância, assumiu-se que Goulart adopta um entendimento mais abrangente dos custos de gestão e conservação dos contentores, que explicará a diferença nos valores avançados e a eventual subestimação dos custos por Lavita e Rhoma *et al.*

²⁰ Tempo médio de vida útil apontado por Gomes, Matos *et al.* (2008) e Rhoma, Zhang *et al.* (2010).

Tabela 9 – Custo de um contentor para recolha selectiva de vidro, ao longo de 30 anos

Componente	C_i	V	C_g^{21} (35% C_i)	fV	fG	CI	CG	CT
	€	anos				€/30 anos	€/30 anos	€/30 anos
Contentor para recolha selectiva de vidro	420	10	147	1,99	16,14	836	2373	3209

Para dois contentores de 2500 litros, afectos à **recolha selectiva** (um para **papel/cartão** e o outro para **plástico/metal**), com vida útil de 10 anos²²:

Tabela 10 – Custo de um contentor para recolha selectiva de papel/cartão e plástico/metal, ao longo de 30 anos

Componente	C_i^{23}	V	C_g^{24} (35% C_i)	fV	fG	CI	CG	CT
	€	anos				€/30 anos	€/30 anos	€/30 anos
Contentores para recolha selectiva de papel/cartão e plástico/metal	840	10	294	1,99	16,14	1672	4745	6418

Factor de utilização de um contentor (Ud)

Conforme afirmado anteriormente, considera-se que a recolha ocorre, em média, quando os contentores estão 70% cheios. O valor de Ud é, por conseguinte, de **0,7**.

Capacidade mássica de um contentor (Vd)

A capacidade dos contentores foi pré-definida em litros ao passo que as capitações usadas são mássicas (em quilos). Há, por conseguinte, que torná-las comparáveis, tendo em consideração as diferentes densidades dos tipos de resíduos.

A capacidade mássica de um contentor de **800 litros** é:

- para resíduos indiferenciados $Vd = 0,8 \text{ m}^3 * 12325 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{98,4 \text{ kg}}$

A capacidade mássica de um contentor de **2500 litros** é:

- para papel/cartão e para plástico/metal de $Vd = 2,5 \text{ m}^3 * 100^{26} \text{ kg/m}^3 = \mathbf{250 \text{ kg}}$
- para vidro: $Vd = 2,5 \text{ m}^3 * 600^{27} \text{ kg/m}^3 = \mathbf{500 \text{ kg}}$

²¹ Ver nota 19.

²² Tempo médio de vida útil apontado por Gomes, Matos *et al.* (2008) e Rhoma, Zhang *et al.* (2010).

²³ Uma vez que a recolha é feita por viatura bi-fluxo, opta-se por igualar o número de contentores de plástico/metal ao de papel/cartão, ou seja, promover soluções de ecoponto. A oferta de contentores de plástico/metal é, por conseguinte, sobredimensionada face à capitação, mas permite ganhos na qualidade de serviço para os utentes (menor distância entre pontos de recolha), não implicando deslocações adicionais, apenas tempos de recolha acrescidos. Logo, o número de contentores é determinado pela capitação semanal (Rs) de papel/cartão. Todavia, para efeitos de cálculo do custo de deposição (relembre-se $CD = (D.Cd)/N$), basta duplicar o valor de Cd.

²⁴ Ver nota 19.

²⁵ Densidade mássica dos resíduos indiferenciados segundo Lopes (2008) e Gomes (2008).

²⁶ Densidade mássica do papel/cartão e do plástico/metal segundo Lopes (2008) e Gomes (2008).

²⁷ Densidade mássica do vidro segundo Lopes (2008) e Gomes (2008).

Custo de veículo ao longo de 30 anos, por km (Cv)

Assumiram-se como veículos-padrão para as operações de recolha e transporte de resíduos urbanos:

- Para a recolha indiferenciada, veículo com sistema de elevação de contentor por carregamento traseiro com capacidade de 23m^2 , com sistema compactador, num rácio de $2,5^{28}$.
- Para a recolha selectiva de vidro, veículo monofluxo, com capacidade de 20m^3 , equipado com grua e sem sistema compactador²⁹.
- Para a recolha selectiva de papel/cartão e plástico metal, viatura bi-fluxo; definiu-se capacidade de 20m^3 , compartimentada na exacta proporção da capitação de cada um dos materiais (aproximadamente 62% para papel/cartão e 38% para plástico/metall), com sistema de compactação, em rácio de 3^{30} .

O custo unitário de veículo, que se pretende por km, engloba custo de investimento (Ci) e custo de gestão e conservação (Cg).

Este inclui, por sua vez, manutenção (Cm), combustível (Cc), seguros (Cs) e inspecções periódicas (Cip). Portanto: $Cg = Cm + Cc + Cs + Cip$

Fixaram-se os seguintes parâmetros, comuns a todos os veículos:

- Vida útil (V) = 7 anos³¹
- Quilometragem média anual = $10782,5 \text{ km/ano}^{32}$
- $Cm = 5\%$ do custo de investimento inicial no ano zero³³ = $5\% * Ci$
- $Cc =$ pressupondo consumo médio de $0,6 \text{ l/km}^{34}$ e preço do combustível de $0,496 \text{ €/l}^{35}$, logo $Cc = 0,6 \text{ l/km} * 0,496 \text{ €/l} * 10782,5 \text{ km/ano} = 3208,9 \text{ € no ano zero}$

²⁸ Segundo Lima (2009), a capacidade dos veículos de recolha costuma variar entre os 5 e os 23m^3 . Optou-se pelo limiar máximo por ser o que permite equacionar recolha dia sim, dia não, ao ter capacidade para recolher os resíduos de cerca de 2600 fogos/dia, no cenário incluindo bio-resíduos.

²⁹ Capacidade suficiente para recolher a capitação semanal de cerca de 17143 fogos.

³⁰ Capacidade suficiente para recolher a capitação semanal de mais de 1200 fogos.

³¹ Tempo médio de vida útil de um veículo de recolha de resíduos, avançado por Le Bozec (2004), após resenha bibliográfica.

³² Quilometragem média anual de um veículo de recolha de resíduos, a partir de Koneczny e Pennington (2004), assumindo os valores médios dos intervalos definidos para a quilometragem percorrida por um camião num dia de recolha (30 a $65 \text{ km/veículo.dia}$) e os dias de trabalho de um veículo por ano (entre 186 e $268 \text{ veículos.dia/ano}$).

³³ Custos de manutenção avançados por Lavita (2008), utilizados em modelo de apoio à gestão na Sociedade Ponto Verde, da mesma ordem de grandeza dos avançados por Rhoma *et al.* (2010). Gomes *et al.* (2003), a partir de Goulart (2003), indicam 14%, que parecem excessivos, mas nem serão necessariamente muito distintos dos que aqui se alcançarão, uma vez que os mesmos autores utilizam custos de investimento na ordem dos 80000€.

³⁴ Consumo médio de combustível por veículos de 20 m^3 avançado por Fernandes (2009). Este valor parece plausível face a outras fontes consultadas: Agar *et al.* (2007) referem $0,44 \text{ l/km}$; Rhoma *et al.* (2010) $0,55$; Carvalho (2010) $0,66$; Lavita (2008) $0,5$; e Gomes *et al.* (2007) 20 l/h .

³⁵ Preço médio do combustível em 2005, actualizado para preços de 2009, sem carga fiscal, utilizado no cálculo dos custos de mobilidade. Maior detalhe no Anexo 10, disponível em http://www.ua.pt/ii/ocupacao_dispersa.

- Cs = 900 € no ano zero³⁶
- Cip = 39,4 € no ano zero³⁷

Pretendendo-se o custo para horizonte de 30 anos por km, há que dividir o CT do veículo pela quilometragem média anual.

Relativamente aos custos de investimento inicial para um veículo afecto à recolha indiferenciada, identificaram-se os valores patentes na Tabela 11. Nem sempre foi possível reunir dados referentes a veículos idênticos ao pressuposto anteriormente apresentado. Desconsideraram-se, contudo, todos aqueles cujas características e especificidades técnicas fossem bastante distintas e, por conseguinte, com custos de aquisição bastante diferentes do veículo pressuposto.

Tabela 11 – Custo de investimento inicial (Ci) de um veículo para recolha indiferenciada de resíduos

Fonte	Ano	Inclui	Ci (€ a preços de 2009)
Gomes <i>et al.</i> (2007); Lopes (2008)	2007	Veículo de 15 m ³ , rácio de compactação 2,5.	87.584,76
A + B	2009	Chassis + caixa + elevador + adaptação traseira	114.700
C + B	2009	Chassis + caixa + elevador + adaptação traseira	124.700
D + B	2009	Chassis + caixa + elevador + adaptação traseira	123.200
CM Portalegre	2009	«Viatura de recolha de RU»	100.000
CM Moura	2009	Viatura + caixa de 15 m ³	105.248,70
CM Penafiel	2009	Viatura pesada de recolha de RSU	114.900
CM Mealhada	2009	Viatura com compactação	127.637,79
Serviços Municipalizados Abrantes	2009	Viatura de recolha e transporte de RSU	132.038,15
CM Entroncamento	2009	Viatura de recolha de RSU	133.812,95
CM Seixal	2009	Viatura	154.000
CM Gondomar	2009	Viatura com compactação	127.000
CM Sines	2009		146.120

Da tabela 12 consta conjunto análogo de valores para um veículo afecto à recolha selectiva de vidro.

³⁶ Custo anual de seguros segundo Lavita (2008): 1000€/camião/ano, ao qual se retiraram 10% de carga fiscal (9% de imposto de selo, 1% de taxa paga ao INEM). Adopta-se este valor por ser específico a veículos de recolha, ao invés de se adoptar o custo alcançado no âmbito dos custos de mobilidade ou qualquer outra fonte (e.g. ANTRAM, 2006).

³⁷ Custo resultante da aplicação do método *bottom-up* de cálculo de custo de inspecção desenvolvido no cálculo dos custos associáveis à mobilidade, do qual resulta custo para a vida útil do veículo, que houve que dividir pela sua vida útil, para obter valor anual, apesar de este valor não ser necessariamente igual todos os anos, ao estar dependente do calendário de inspecções definido. Maior detalhe no Anexo 10, disponível em http://www.ua.pt/ii/ocupacao_dispersa.

Tabela 12 – Custo de investimento inicial (Ci) de um veículo para recolha selectiva de vidro

Fonte	Ano	Inclui	Ci (€ a preços de 2009)
Valnor	2009	Viatura de recolha de vidro	59.000
Valnor	2009	Viatura de recolha de papel/cartão e embalagens	60.000
Valnor	2009	Viatura pesada para transporte de resíduos	108.500
ERSUC	2009	Chassis + caixa	115.990
A+B	2009	Chassis + caixa + grua	130.300
C+B	2009	Chassis + caixa + grua	140.300
D+B	2009	Chassis + caixa + grua	138.800
Resialentejo	2010	Viatura e equipamento para recolha selectiva	129.500
Valorminho	2009	Viatura de 32 toneladas	116.050
Lavita (2008)	2008	Camião ampli-roll com grua e caixas amovíveis de 20 m ³	135.355,5
Lavita (2008)	2008	Camião de caixa aberta com grua, de 15m ³ , sem compactação	59.457,26
Lavita (2008)	2008	Camião mono-fluxo, entre 15 e 20 m ³ , com compactação.	99.095,44
Ambisousa	2010	Viatura pesada para apoio à recolha selectiva	94.500

A definição do valor a utilizar não recorreu ao simples cálculo de uma média aritmética, por existirem diferenças entre especificações técnicas de alguns dos veículos considerados e o referencial adoptado e pelo facto de a maioria dos valores respeitantes a aquisições por parte de entidades públicas não terem detalhe suficiente que permita, taxativamente, entender a que componentes exactas se reportam os valores em causa.

Os valores elencados nas duas tabelas não são inequívocos quanto ao diferencial de preços entre os dois tipos de veículos. Se o tratamento a orçamentos recebidos de alguns produtores de veículos (A, C, D) e de uma produtora de equipamento para recolha de resíduos (B) sugere que o veículo afecto à recolha selectiva seria mais caro que o de recolha indiferenciada (dado o preço mais elevado da grua, face ao elevador e à adaptação da traseira do veículo, uma vez que se considerou a mesma caixa para ambos os casos, equipada com sistema de compactação), os restantes valores sugerem, genericamente, que o veículo afecto à recolha selectiva será mais barato, por não ser, tecnicamente, muito complexo.

Com base na média dos valores referentes a veículos que mais claramente se aproximavam dos referenciais assumidos, adoptaram-se os seguintes custos de referência:

- Para o veículo de **recolha indiferenciada**, 130.000 €
- Para o veículo de **recolha selectiva**, 110.000 €

Para a recolha selectiva de papel/cartão e plástico/metall, o referencial avançado por Lavira (2008) foi considerado suficiente, conforme se verá na Tabela 15.

Assim:

Para a **recolha indiferenciada**:

Tabela 13 – Custo de veículo para recolha indiferenciada, ao longo de 30 anos

<i>Componente</i>	<i>C_i</i> €	<i>V</i> anos	<i>C_g</i> (5% <i>C_i+C_c+C_s+C_{ip}</i>)	<i>f_V</i>	<i>f_G</i>	<i>CI</i> €/30 anos	<i>CG</i> €/30 anos	<i>CT</i> €/30 anos	<i>CT</i> €/km/30 anos
Veículo para a recolha indiffer. de resíduos	130000	7	10648	2,66	16,14	346387	171875	518262	48,065

Para a **recolha selectiva de vidro**:

Tabela 14 – Custo de veículo para recolha selectiva de vidro, ao longo de 30 anos

<i>Componente</i>	<i>C_i</i> €	<i>V</i> anos	<i>C_g</i> (5% <i>C_i+C_c+C_s+C_{ip}</i>)	<i>f_V</i>	<i>f_G</i>	<i>CI</i> €/30 anos	<i>CG</i> €/30 anos	<i>CT</i> €/30 anos	<i>CT</i> €/km/30 anos
Veículo para a recolha selectiva de vidro	110000	7	9648	2,66	16,14	293097	155734	448831	41,626

Para a **recolha selectiva de papel/cartão e plástico/metall**:

Tabela 15 – Custo de um veículo para recolha selectiva de papel/cartão e plástico/metall, ao longo de 30 anos

<i>Componente</i>	<i>C_i</i> ³⁸ €	<i>V</i> anos	<i>C_g</i> (5% <i>C_i+C_c+C_s+C_{ip}</i>)	<i>f_V</i>	<i>f_G</i>	<i>CI</i> €/30 anos	<i>CG</i> €/30 anos	<i>CT</i> €/30 anos	<i>CT</i> €/km/30 anos
Veículo para a recolha selectiva de papel/cartão e plástico/metall	210000	7	14648	2,66	16,14	559548	236439	795988	73,822

Tempo que um veículo demora a percorrer um quilómetro (Tk)

Adoptou-se o valor de **0,067 h/km**, equivalente a uma velocidade média de 15 km/h, valor intermédio entre velocidades médias nos períodos de recolha e nas viagens aos locais de depósito³⁹, aplicado a ambos os veículos.

³⁸ Valor próximo do sugerido por Lavira (2008) para veículo bi-fluxo de 20 m³, com compactação, a preços de 2009.

³⁹ Velocidade média de recolha de 10 km/h indicada para veículos de 20 m³ por Silva (2009) e de 10,23 km/h de velocidade média da frota de recolha de resíduos de Almada, segundo Carvalho (2008). A mesma Silva indica 26 km/h e Lopes (2008) assume uma velocidade de 25 km/h para o transporte entre local de recolha e o de depósito.

Tempo de carga e descarga de um contentor (Td)

O tempo de carga e descarga de um contentor varia com as suas especificidades técnicas, com as do veículo e com os resíduos depositados no contentor. Adoptam-se os seguintes valores:

- Contentor de 800 litros, resíduos indiferenciados: **0,03 h/recolha**⁴⁰
- Dois contentores de 2500 litros, um para papel/cartão e outro para plástico/metálico: **0,1 h/ recolha**⁴¹
- Contentor de 2500 litros, vidro: **0,02 h/recolha**⁴²

Duração da viagem de ida e volta ao local de descarga do veículo, incluindo o tempo de descarga (T')

A duração da viagem de ida e volta ao local de descarga do veículo é função da extensão do percurso entre o último local de recolha e o local de descarga do veículo, ida e volta (K', em quilómetros), do tempo que o veículo demora a percorrer um quilómetro (Tk', em horas) e do tempo de despejo do veículo (Td')

$$T' = Tk' * K' + Td'$$

Assim, para a recolha indiferenciada e para a recolha selectiva de vidro:

$$T' = 0,04 \text{ horas/km}^{43} * 30 \text{ km}^{44} + 0,25 \text{ horas}^{45} = \mathbf{1,45 \text{ h/percurso}}$$

Para a recolha selectiva de papel/cartão e plástico/metálico:

$$T' = 0,04 \text{ horas/km} * 30 \text{ km} + 0,5 \text{ horas}^{46} = \mathbf{1,7 \text{ h/percurso}}$$

Custo horário de uma equipa ao longo de trinta anos (Ce)

O custo horário de uma equipa depende do salário de um trabalhador (ST, em €/hora) e da dimensão da equipa envolvida no esforço de recolha (NT, em

⁴⁰ Segundo Lopes (2008), para contentores e veículos idênticos aos referenciais aqui adoptados. Fernandes (2009) aponta para 1,5 minutos em sistemas de recolha traseira e Carvalho (2010) somente 35 segundos para o despejo de um contentor colectivo, baseando-se em apuramentos no Município de Almada.

⁴¹ Soma dos tempos de carga e descarga de um contentor de 2500 litros para papel/cartão (0,06 horas) e para plástico/metálico (0,04 horas), segundo Gomes (2009) reportados ao sistema de recolha de Loures.

⁴² Valor avançado por Gomes (2009), reportado ao sistema de recolha de Loures.

⁴³ Equivalente a uma velocidade média de 25 km/h (ver nota 42)

⁴⁴ Equivalente a dois percursos de 15 km. Elegeu-se esta distância, uma vez que distâncias superiores a 25 – 30 km requereriam estação de transferência, local de armazenamento provisório dos resíduos até transporte para as unidades de tratamento (Lima. 2009); estas estações não são consideradas no presente trabalho, por serem mais frequentes em áreas de menores densidades e menos frequentes à escala da Cidade Alargada. 15 km é, então, um valor plausível para uma média de distância UTB – local de depósito.

⁴⁵ Equivalente a 15 minutos, valor avançado por Lavita (2008) e Silva (2009) e não muito diferente dos 12 minutos identificados por Carvalho (2008).

⁴⁶ Assume-se que o veículo demora os 15 minutos considerados para descarregar cada um dos fluxos (logo, Td' = 0,25 * 2).

trabalhador/equipa). ST é o resultado da divisão da actualização de St, salário anual de um trabalhador no ano zero por Nh, número de horas de trabalho num ano (horas/ano). A actualização é feita com o mesmo factor que os custos de gestão e conservação (fG).

$$Ce = ST \cdot NT$$

$$ST = (St * fG) / Nh$$

Tabela 16 – Custo horário de uma equipa de recolha

Componente	St ⁴⁷ €/trabalhador/ ano	fG	Nh ⁴⁸	NT ^{49,50}	ST	Ce
			Horas/trabalhador /ano	Trabalhadores /equipa		
Custo horário de uma equipa de recolha indiferenciada	13000	16,1 4	1694	3	123,9	371,6
Custo horário de uma equipa de recolha selectiva	13000	16,1 4	1694	2	123,9	247,7

Considerando cada uma das constantes estabelecidas e recordando a fórmula genérica para o cálculo dos custos de deposição e recolha (€/fogo/ano),

$$CDR = \left(\frac{Rs.Cd.1,2}{Ud.Vd} \right) \cdot \frac{1}{F} + [(Cv.52) + (Tk.Ce.52)] \frac{K.F}{N} + [(T'.Ce + Cv.K).52] \frac{F}{N} + \frac{Td.Rs.Ce.62,4}{Ud.Vd}$$

O custo de deposição e recolha de resíduos indiferenciados no sistema incluindo bio-resíduos é dado pela fórmula:

$$CDR = 343,4 \cdot \frac{1}{F} + 3787,6 \cdot \frac{K.F}{N} + 103000,7 \cdot \frac{F}{N} + 200,4$$

O custo de deposição e recolha de resíduos indiferenciados no sistema excluindo bio-resíduos é dado pela fórmula:

$$CDR = 191,2 \cdot \frac{1}{F} + 3787,6 \cdot \frac{K.F}{N} + 103000,7 \cdot \frac{F}{N} + 111,6$$

O custo de deposição e recolha selectiva de papel/cartão e plástico/metal é dado pela fórmula:

⁴⁷ Valor avançado por Lavita (2008), assumindo jornadas de trabalho de 7 horas, 22 dias por mês, ao longo de 11 meses por ano. Gomes *et al.* (2007) e Lopes (2008), por seu turno, a

⁴⁸ 7 horas/dia * 22 dias/mês * 11 meses/ano (Lavita, 2008)

⁴⁹ Equivalente a um motorista e 2 cantoneiros de limpeza por equipa (Freitas, 2004; Gomes, Matos *et al.*, 2008; Lopes, 2008).

⁵⁰ Segundo Freitas (2004), a recolha selectiva com recurso a grua requer apenas um motorista e um cantoneiro de limpeza.

$$CDR = 113,4 \cdot \frac{1}{F} + 4697,6 \cdot \frac{K \cdot F}{N} + 137062,6 \cdot \frac{F}{N} + 22,8$$

O custo de deposição e recolha selectiva de vidro é dado pela fórmula:

$$CDR = 6,7 \cdot \frac{1}{F} + 3023,4 \cdot \frac{K \cdot F}{N} + 83615,8 \cdot \frac{F}{N} + 0,54$$

Custo da compostagem doméstica

A compostagem doméstica pode ser feita numa variedade de equipamentos, podendo até deles prescindir e realizar-se numa pilha a céu aberto. Neste estudo, considerou-se como equipamento-padrão um compostor em plástico com capacidade de 300 litros⁵¹.

A compostagem doméstica requer manutenção frequente, verificando e corrigindo níveis de humidade, temperatura e acidez. Ainda que se possa fazê-lo com recurso a equipamento específico (medidores de pH, termohigrómetros com sonda...) existem métodos artesanais, sem exigências de equipamento, que permitem fazê-lo de forma adequada. Não se consideram, por isso, custos de gestão e conservação neste âmbito.

Os custos de compostagem doméstica considerados são, por conseguinte, apenas de investimento, assumindo-se vida útil de 10 anos⁵²:

$$C_i = 65\text{€}^{53}$$

$$fV = 1,990802736$$

$$CT = C_i = 129,4 \text{ €}$$

⁵¹ Considerando uma densidade mássica dos resíduos urbanos biodegradáveis de 450 kg/m³, um compostor com este volume terá capacidade de 135 kg, suficiente para acolher a matéria orgânica produzida ao longo de quase 15 semanas por um fogo.

⁵² Não foi possível encontrar valores para o tempo médio de vida de um compostor doméstico em plástico. Pela semelhança entre este material e o utilizado nos contentores, assumiu-se tempo de vida útil idêntico.

⁵³ A recolha de preços de um conjunto de cinco fontes sugere valores desta ordem de grandeza. Maior detalhe em http://www.ua.pt/ii/ocupacao_dispersa.

1.1.2. Custos de cada sistema padrão

Tabela 17 – Custos de cada sistema padrão

<i>Componente</i>	<i>Sistema inc. Recolha de bio-resíduos (€/fogo)</i>	<i>Sistema exc. Recolha de bio-resíduos (€/fogo)</i>
Custo de infraestrutura geral	808,9	332,5
Custo de deposição e recolha indiferenciada	$CDR = 343,4 \cdot \frac{1}{F} + 3787,6 \cdot \frac{K \cdot F}{N} + 103000,7 \cdot \frac{F}{N} + 200,4$	$CDR = 191,2 \cdot \frac{1}{F} + 3787,6 \cdot \frac{K \cdot F}{N} + 103000,7 \cdot \frac{F}{N} + 111,6$
Custo de deposição e recolha selectiva de papel/cartão e plástico/metal	$CDR = 113,4 \cdot \frac{1}{F} + 4697,6 \cdot \frac{K \cdot F}{N} + 137062,6 \cdot \frac{F}{N} + 22,8$	$CDR = 113,4 \cdot \frac{1}{F} + 4697,6 \cdot \frac{K \cdot F}{N} + 137062,6 \cdot \frac{F}{N} + 22,8$
Custo de deposição e recolha selectiva de vidro	$CDR = 6,7 \cdot \frac{1}{F} + 3023,4 \cdot \frac{K \cdot F}{N} + 83615,8 \cdot \frac{F}{N} + 0,54$	$CDR = 6,7 \cdot \frac{1}{F} + 3023,4 \cdot \frac{K \cdot F}{N} + 83615,8 \cdot \frac{F}{N} + 0,54$
Custo compostagem doméstica (€/ano)	0	129,4

Ensaia-se a aplicação dos custos a um conjunto de UTB de ocupações urbanas distintas e a duas frequências de recolha distintas. Adopta-se a dimensão de referência de 3000 habitantes ou equivalentes, pelo que, em todas elas, $N=1200$.

As ocupações urbanas são, neste ensaio, unicamente definidas através da sua densidade linearizada, expressa em número de fogos por 100 metros lineares de via. Ensaia-se sistemas que incluem e que não incluem a recolha de bio-resíduos, assume-se desde logo que a adopção do segundo ocorrerá para ocupações com densidades operativas menores.

A extensão das vias necessária para servir os 1200 fogos variará, então, em função da densidade linearizada. Os valores de K – a extensão do percurso de recolha – serão, por conseguinte, variáveis. Assume-se, apenas para efeitos de aplicação abstracta dos custos, que K equivale sempre a 70% da extensão total das vias em cada forma de ocupação.

Considera-se uma distância máxima entre contentores com sendo K/D (extensão do percurso/ n.º de contentores); de facto corresponderia a um valor médio se o percurso não fosse malhado, o que só acontece em ocupação absolutamente linear.

Testa-se a recolha dita diária ($F = 6$ vezes / semana, contando com a prática corrente de um dia sem recolha) e a recolha de “dia sim, dia não” ($F = 3$ vezes / semana).

Assim, **para a recolha indiferenciada**, incluindo e excluindo bio-resíduos (Tabela 18 e Tabela 19).

Tabela 18 – Custos de recolha de resíduos indiferenciados incluindo bio-resíduos para uma variedade de cenários

Densidade linearizada (fogos/100ml de via)	K extensão de percurso (70% * N / Densidade)	F Frequência de recolha	D Número de contentores	Distância máxima entre contentores (K / D)	T + T' (horas)	Custo de depósito e recolha (€/fogo)	Custo total (€/fogo)
30	2,8 km	6	69	40	3,7	825,7	1634,6
	2,8	3	138	20	5,8	598,9	1407,8
20	4,2	6	69	61	3,8	852,2	1661,1
	4,2	3	138	30	5,9	612,2	1421,1
10	8,4	6	69	121	4,1	931,7	1740,7
	8,4	3	138	61	6,2	651,9	1460,9

Tabela 19 – Custos de recolha de resíduos indiferenciados excluindo bio-resíduos para uma variedade de cenários

Densidade linearizada (fogos/100ml de via)	K extensão percurso (70% * N / Densidade Linearizada / 1000)	F Frequência semanal de recolha	D Número de contentores	Distância máxima entre contentores (K / D)	T + T' (horas)	Custo de depósito e recolha (€/f/ano)	Custo total (€/fogo)
10	8,4	6	39	218	3,2	817,5	1279,4
	8,4	3	77	109	4,3	512,4	974,2
5	16,8	6	39	436	3,7	976,6	1438,5
	16,8	3	77	218	4,9	591,9	1053,8
2,5	33,6	6	39	873	4,8	1294,8	1756,7
	33,6	3	77	436	6,0	751,0	1212,9

Dos ensaios realizados, conclui-se:

- Os custos aumentam substancialmente com a diminuição da Densidade Linearizada, reflectindo a necessidade de percorrer uma maior distância para recolher o mesmo número de fogos.
- A recolha excluindo bio-resíduos é muito mais barata. Verifica-se para o cenário 10 fogos/ml (o único que se repete nos cenários seleccionados). E verifica-se para qualquer outra densidade linearizada, com poupanças entre os 8 e os 23%.
- A recolha dia sim/dia não parece ser a mais indicada, desde logo porque é a mais barata. Além disso: os contentores estão mais próximos entre si (porque menos recolhas requer mais contentores); o valor de T + T' nunca excede as 7 horas (turno de uma Equipa); o camião tem capacidade para mais de 2400 fogos dia, logo, um frete basta para cumprir o circuito (o que já não aconteceria se o intervalo fosse de 3 dias).
- A distância entre contentores aumenta, naturalmente, com a diminuição da densidade linearizada das UTB. No segundo sistema, aplicado a UTB de baixa densidade linearizada, as distâncias excedem o valor “normal” de 250 metros. Não havendo matéria orgânica nos resíduos indiferenciados, é plausível: a exigência que daí decorre, de transporte dos resíduos feita por carro; mas também, em

alternativa, a redução da frequência de recolha de forma a diminuir a distância entre contentores.

Na **recolha selectiva**, na de vidro, como na de papel/cartão e plástico/metálico, perspectiva-se apenas, face à capitação reduzida e para qualquer densidade linearizada, o cenário de uma recolha semanal por UTB.

Tabela 20 – Custos de recolha selectiva de vidro para uma variedade de cenários

Densidade linearizada (fogos/100 metros lineares de via)	K extensão percurso (70% * N / Densidade linearizada)	F Frequência semanal de recolha	D Número de contentores	Distância máxima entre contentores (K / D)	T + T' (horas)	Custo de depósito e recolha (€/f/ano)
30	2,8	1	3	117	1,7	84,0
20	4,2	1	3	1676	1,8	87,5
10	8,4	1	3	3352	2,1	87,1
5	16,8	1	3	6704	2,6	119,2
2,5	33,6	1	3	13409	3,7	161,6

Tabela 21 – Custos de recolha selectiva de papel/cartão e plástico/metálico para uma variedade de cenários

Densidade linearizada (fogos/100 metros lineares de via)	K extensão percurso (70% * N / Densidade linearizada)	F Frequência de recolha	D Número de contentores (ecoponto)	Distância máxima entre contentores (K / D)	T + T'	Custo de depósito e recolha (€/f/ano)
30	2,8	1	21	132	4,0	261,4
20	4,2	1	21	198	4,1	266,9
10	8,4	1	21	396	4,4	283,3
5	16,8	1	21	792	4,9	316,2
2,5	33,6	1	21	1584	6,1	382,0

Para este cenário e no que respeita ao **vidro** (Tabela 20), o volume de recolha justifica apenas um contentor. Este número é inferior ao comumente aceite (rondando 1 ecoponto/500 habitantes), sendo que as distâncias médias entre contentores que daí resultam exigem o recurso ao transporte particular habitação/ ponto de recolha. O contentor deverá, então, integrar ecoponto e localizar-se em articulação com demais elementos geradores de fluxos.

No que respeita a recolha de **papel/cartão e de plástico/metálico** (Tabela 21), o tempo de recolha também nunca excede as 7 horas, sendo necessários 21 pontos de recolha (cerca de 1 por 140 habitantes). As distâncias entre contentores exigem, mesmo assim, o recurso ao transporte automóvel, nos cenários de menor densidade linearizada.

Face a estes ensaios, ressalta a evidência de que, num e noutro caso, o custo da recolha selectiva vai aumentando com a diminuição da densidade linearizada.

2. Referências Bibliográficas

APA - Agência Portuguesa de Ambiente (s.d.). Caracterização. Amadora, Agência Portuguesa de Ambiente.

APA - Agência Portuguesa de Ambiente (2010). Caracterização da Situação dos Resíduos Urbanos em Portugal Continental em 2009. Amadora, Agência Portuguesa de Ambiente.

Carvalho, M. M. V. T. d. (2008). Optimização de circuitos e indicadores de recolha de resíduos urbanos. Caso de estudo: Município de Almada. Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente. Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. **Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, perfil Gestão e Sistemas Ambientais.**

Fernandes, G. A. T. (2009). Optimização da recolha de resíduos sólidos indiferenciados no município de Sintra. Aplicação de SIG a uma Sistema de Apoio à Decisão. Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. **Dissertação de Mestrado em Bioenergia.**

Freitas, D. d. G. S. M. d. (2004). Estudo de caso: gestão dos circuitos de recolha de RSU no concelho de Guimarães. Porto, Universidade Fernando Pessoa. **Monografia final de Licenciatura em Engenharia do Ambiente.**

Gomes, C. M. B. (2009). Análise de indicadores de produtividade de circuitos de recolha selectiva de RSU com diferentes características operacionais. Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente. Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. **Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, perfil Engenharia Sanitária.**

Gomes, M. d. R. V. (2008). Contribuição para a gestão sustentável de resíduos sólidos na Região Centro. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Aveiro, Universidade de Aveiro. **Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente.**

Gomes, A. P., M. A. Matos, et al. (2008). "Separate collection of the biodegradable fraction of MSW: An economic assessment." Waste Management **28** (10): 1711-1719.

Hogg, D. (2002). Costs for Municipal Waste Management in the EU. Bruxelas, Comissão Europeia.

Koneczny, K. e D. Pennington (eds.) (2004). Environmental Assessment of Municipal Waste Management Scenarios: Part II - Detailed Life Cycle Assessments. JRC Scientific and Technical Reports. Ispra, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.

Lavita, M. T. (2008). Circuitos de recolha selectiva multi-material porta-a-porta. Lisboa, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. **Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente**.

Le Bozec, A. (2004). Deliverables 5 and 7 - Costs models for each municipal solid waste process. AWAST: Aid in the Management and European Comparison of Municipal Solid Waste Treatment methods for a Global and Sustainable Approach: Material, economic, energetic and environmental modelling and simulation tools for the selection, evaluation and optimisation of a complete MSW chain. J. Villeneuve (coord.). Rennes, CEMAGREF Rennes Regional Centre.

Lima, M. J. R. C. (2009). A Gestão de RU nos Municípios do Interior. Estudo do Caso de Moimenta da Beira. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Aveiro, Universidade de Aveiro. **Dissertação de Mestrado em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos**.

Lopes, M. V. S. (2008). Contribuição para um modelo de gestão sustentável de resíduos urbanos a nível municipal. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Aveiro, Universidade de Aveiro. **Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente**.

Martinho, M. d. G. M. e M. G. P. Gonçalves (2000). Gestão de Resíduos. Lisboa, Universidade Aberta.

Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional (2007). PERSU II - Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007-2016.

Rhoma, F., Z. Zhang, et al. (2010). Environmental & Economical Optimization for Municipal Solid Waste Collection Problems, A Modelling and Algorithmic Approach Case Study. 12th WSEAS International Conference on Mathematical Methods, Computation Techniques, Intelligent Systems (MAMECTIS'10). A. Kallel, A. Hassairi, C. A. Bulucea and N. Mastorakis (eds.). Kantaoui, Sousse, Tunísia, WSEAS Press: 205-211.

Silva, A. R. E. d. (2009). Optimização da recolha de resíduos urbanos. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Aveiro, Universidade de Aveiro. **Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente**.

Teixeira, S. C. M. (2004). Estratégias de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos. Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. **Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, ramo de Gestão e Tratamento de Resíduos Industriais.**

Tsilemou, K. e D. Panagiotakopoulos (2006). "Approximate cost functions for solid waste treatment facilities." Waste Management & Research **24**(4): 310-322.