

WORKSHOP

# RECOLHA INTELIGENTE DE RESÍDUOS

RESULTADOS E DESAFIOS



**W**

## WSMARTROUTE

Recolha de Resíduos com base num Sistema de Planeamento de Rotas em Tempo Real

Equipa de Projeto







Parceiro Industrial



Entidades Financiadoras




MIT-EXPL/SUS/0132/2017

**19** 2020  
**FEVEREIRO**  
Lisboa

1

# Agenda

- Apresentação Geral do Projeto WSmart Route (Tânia Ramos, IST)
- Recolha Seletiva no Litoral Centro (M<sup>a</sup> João Conceição, ERSUC)
- Sensores de Volume e a Plataforma 360Waste (Hélio Silva, EVOX)
- Principais Resultados do Projeto WSmart Route (Tânia Ramos, IST)

*Coffee-Break*

- Debate: Recomendações e Desafios para uma Recolha (mais) Inteligente de Resíduos (Moderador: António Pais Antunes, Universidade de Coimbra)



**W**  
WSMARTROUTE

2



# Apresentação do Projeto WSmart Route

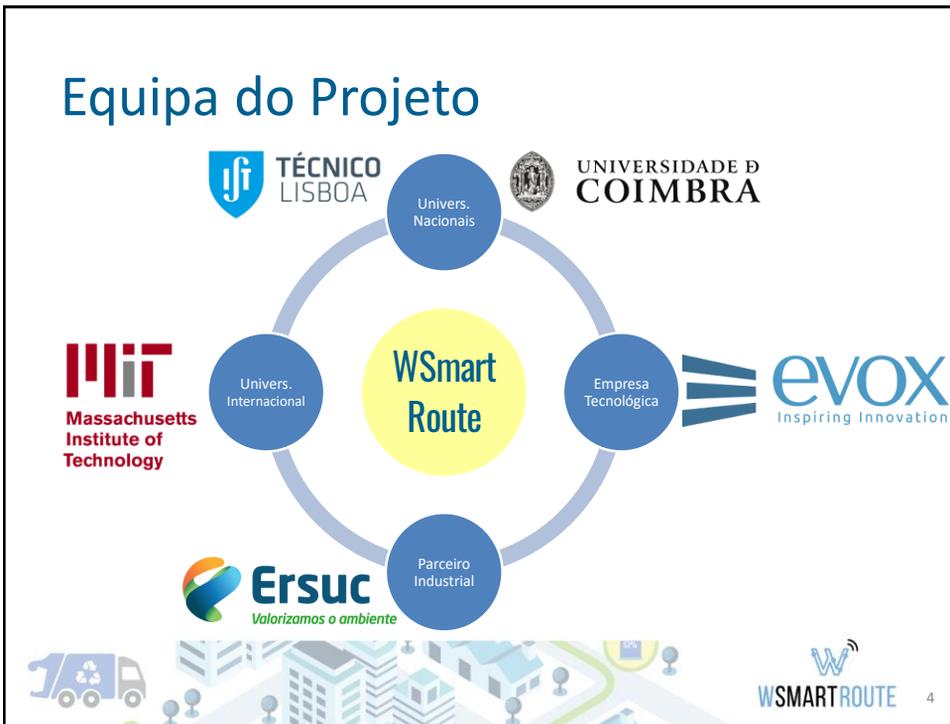
Tânia Ramos, Investigadora Responsável



3

3

# Equipa do Projeto



**TÉCNICO LISBOA** (Univers. Nacionais)

**UNIVERSIDADE DE COIMBRA**

**MIT** (Univers. Internacional) - Massachusetts Institute of Technology

**evox** (Empresa Tecnológica) - Inspiring Innovation

**Ersuc** (Parceiro Industrial) - Valorizamos o ambiente



4

4

## Equipa do Projeto



**Tânia Ramos**  
Prof. Auxiliar  
DEG-IST



**Ana Póvoa**  
Prof. Catedrática  
DEG-IST



**Carolina Morais**  
Estudante  
Doutoramento



**Raquel Aguiar**  
Estudante  
Doutoramento



**Yoeri Brouwer**  
MSc Electrotecnica e  
Computadores



**António Pais Antunes**  
Prof. Catedrático  
DEC-UC



**Diana Jorge**  
Investigadora Pós-Doc



5

5

## Equipa do Projeto



**Cynthia Barnhart**



**Patrick Jaillet**



**Hélio Silva**  
CEO Evox



6

6

# Parceiro Industrial






**Miguel Ferreira**  
Administrador ERSUC



**M<sup>a</sup> João Conceição**  
Responsável pela Recolha Seletiva,  
ERSUC



7

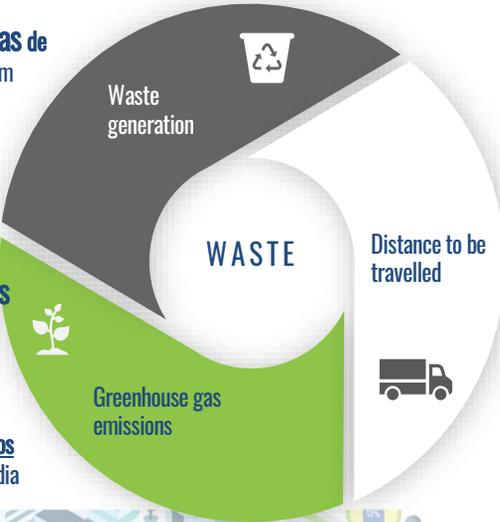
# Motivação

**5,2 milhões de toneladas de RSU** são recolhidos, por ano, em Portugal (PORDATA, 2018)

**20 mil toneladas** de RSU são recolhidos por dia

**1,1 milhões de toneladas** de **Resíduos Recicláveis** são recolhidos, por ano (PORDATA, 2018)

**4 mil toneladas** de **Resíduos Recicláveis** são recolhidos por dia



**WASTE**

Waste generation

Greenhouse gas emissions

Distance to be travelled

**Toneladas de Resíduos têm de ser recolhidos todos os dias**

↓

**Milhares de km têm de ser percorridos todos os dias**



8

## Motivação

Um estudo preliminar conduzido em Portugal [Gon14] revelou que:

- 38% dos ecopontos visitados estavam vazios ou com uma taxa de enchimento inferior ou igual a 25%
- Apenas 40% dos ecopontos recolhidos apresentavam uma taxa de enchimento maior ou igual a 75%



Ineficiência na utilização dos recursos da empresa

[Gon14] Gonçalves, D. 2014. Tecnologias de Informação e Comunicação para otimização da recolha de resíduos recicláveis. Tese de mestrado, ISCTE IUL, Lisboa



9

## Possível Solução: Sensores de Volume



Transmitem informação em tempo real sobre o nível de enchimento do ecoponto/contentor



Redução da incerteza sobre a quantidade a recolher



**MAS... o acesso aos dados em tempo real não é suficiente para aumentar a eficiência na operação de recolha de resíduos**



10

## Solução: Sensores + Otimização Rotas

  
WSMARTROUTE

Otimizar os circuitos de recolha com base na informação transmitida pelos sensores



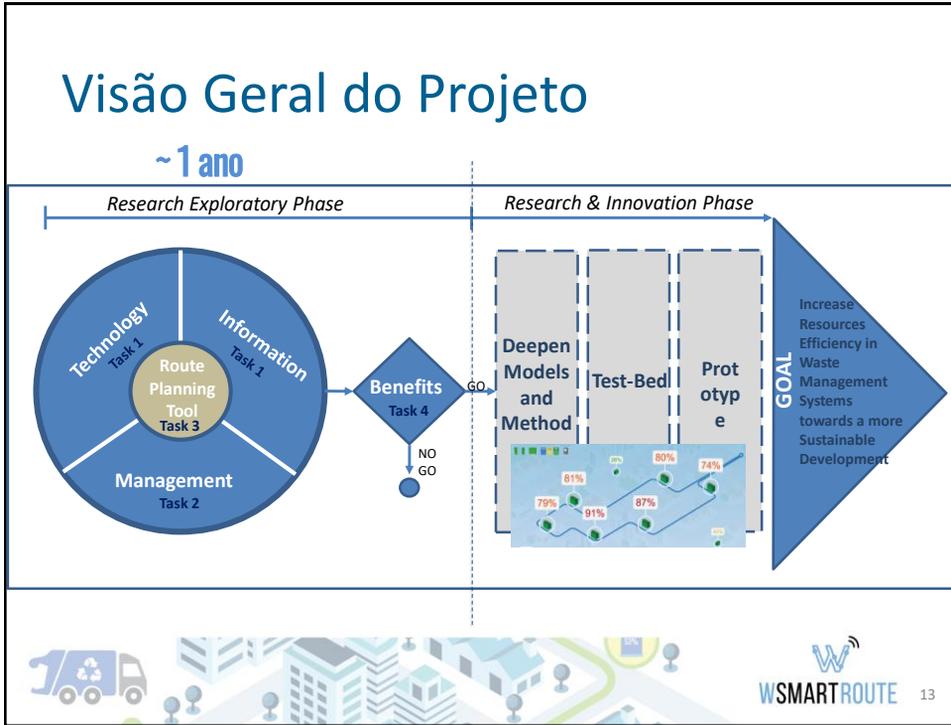
11

## Objetivos do Projeto

- 1) Analisar métodos de monitorização dos níveis de enchimento: leituras dos sensores vs. registos manuais dos motoristas
- 2) Desenvolver e testar modelos matemáticos e algoritmos para definir rotas ótimas dinâmicas, considerando os dados fornecidos pelos sensores
- 3) Avaliar os benefícios da utilização de sensores + otimização de rotas, comparando a situação atual (recolha cega) com a situação futura (recolha inteligente)



12



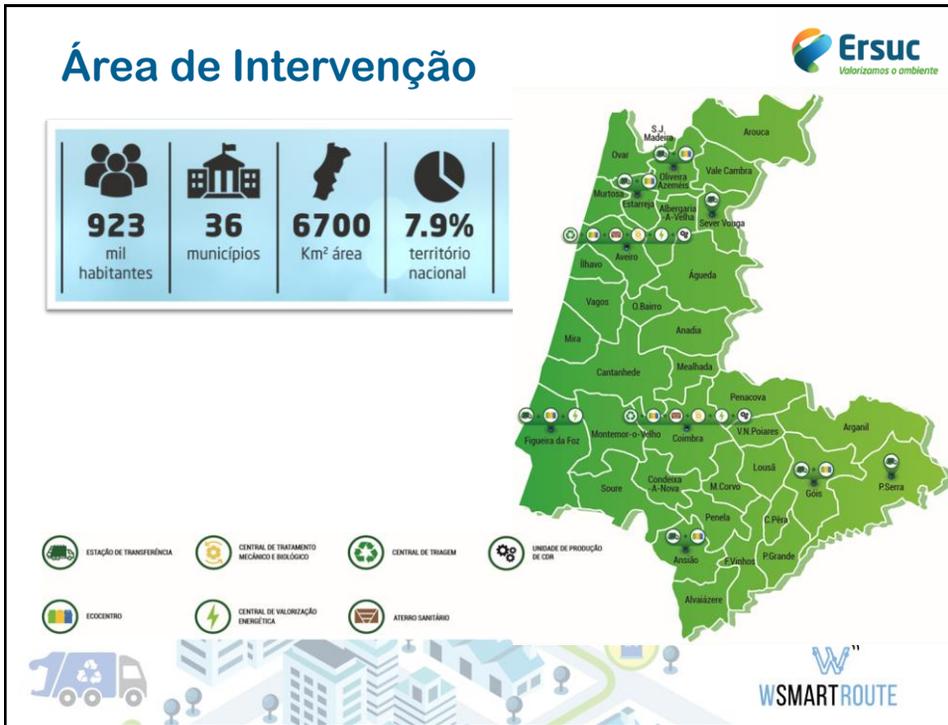
13

## A Recolha Seletiva no Litoral Centro

**Maria João Conceição,**  
Responsável pela Recolha Seletiva e Estações de Triagem, ERSUC

14

14



15



16

# Organização da Recolha Seletiva

Valorizamos o ambiente






17

# Organização da Recolha Seletiva

Valorizamos o ambiente

## SPAR – Sistema de Planeamento e Análise de Recolha

### BACKOFFICE

#### Planeamento e gestão dos recursos

- ✓ Georreferenciação de Ecopontos
- ✓ Atualização de Circuitos;
- ✓ Definição de frequências
- ✓ Geração de relatórios de atividades
- ✓ Atribuição de circuitos a realizar






18

# Organização da Recolha Seletiva



## OPERAÇÃO

### Recolha de ecopontos e de dados

- ✓ Sincronizar Turno
- ✓ Processar Turno
- ✓ Iniciar serviço
- ✓ Selecionar Ecoponto
- ✓ Preencher níveis de enchimento
- ✓ Pesagem
- ✓ Fecho do turno
- ✓ Sincronizar






19

# Recolha Seletiva 2019





67 MOTORISTAS → 44 VIATURAS → 15 207 CIRCUITOS

5 604 ECOPONTOS ← 1 844 325 km

31 510 TONELADAS (+ 11%)




20



21



22

## Organização da Recolha Seletiva



**Aveiro**

**15 Municípios**  
**22 Viaturas**  
**34 Motoristas**  
**2 818 Ecopontos**  
**160 circuitos**  
**36 circuitos diários**

**Coimbra**

**21 Municípios**  
**22 Viaturas**  
**33 Motoristas**  
**2 786 Ecopontos**  
**160 circuitos**  
**30 circuitos diários**





23

## Constrangimentos na Recolha



**NO BACK OFFICE**

- ✓ Dificuldade em inserir novos ecopontos e criar novos circuitos – Processo lento e complicado ( sempre a criar novas áreas);
- ✓ Grafismo muito pouco apelativo;
- ✓ Relatórios desatualizados;
- ✓ Elevado nº de folhas de controlo manuais;
- ✓ Gestão de avarias inexistente;
- ✓ Dificuldade na integração com o modo GPS;
- ✓ Incerteza dos níveis de Enchimento;



24

## Constrangimentos da Recolha



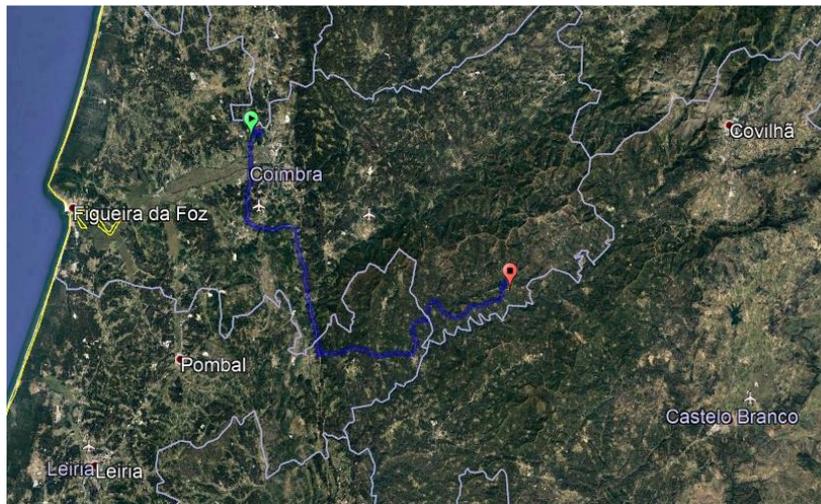
### NA OPERAÇÃO

- ✓ Área de recolha muito extensa;
- ✓ Horários de Trabalho;
- ✓ Sazonalidade;
- ✓ Incertezas nos níveis de Enchimento;
- ✓ Existência de zonas de recolha localizadas a grandes distâncias das Unidades de Aveiro e de Coimbra;



25

## Constrangimentos na Recolha



Pampilhosa da Serra



26

## Constrangimentos na Recolha

**Localizações dos Ecopontos;**

**Reforço de Meios num curto espaço de tempo;**




27

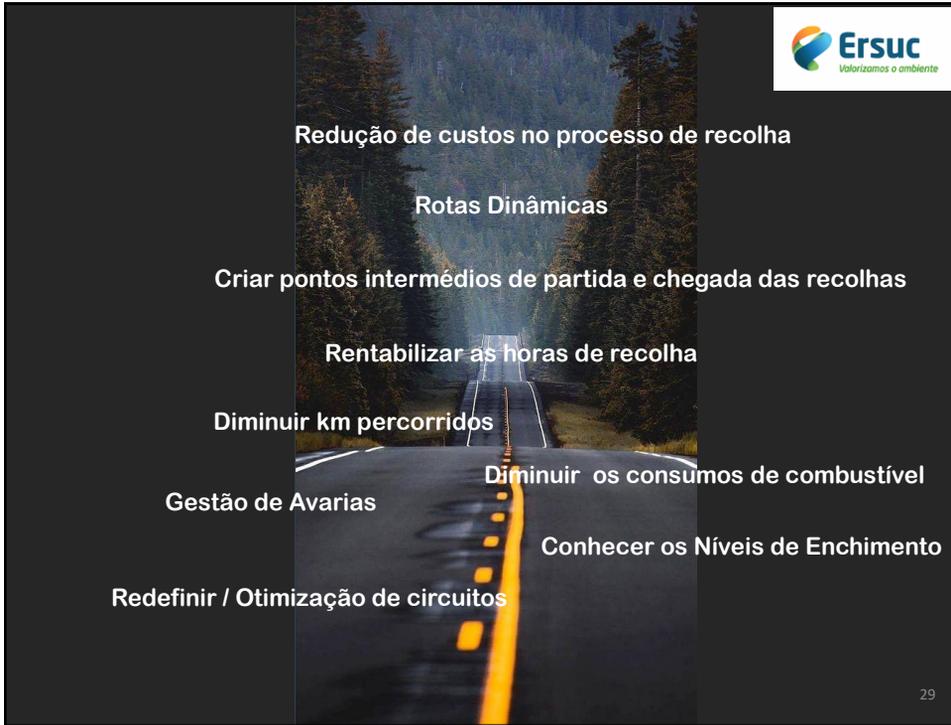
## Desafios

**Constrangimentos no Planeamento  
+  
Constrangimentos na Recolha**





28



**Ersuc**  
Valorizamos o ambiente

Redução de custos no processo de recolha

Rotas Dinâmicas

Criar pontos intermédios de partida e chegada das recolhas

Rentabilizar as horas de recolha

Diminuir km percorridos

Diminuir os consumos de combustível

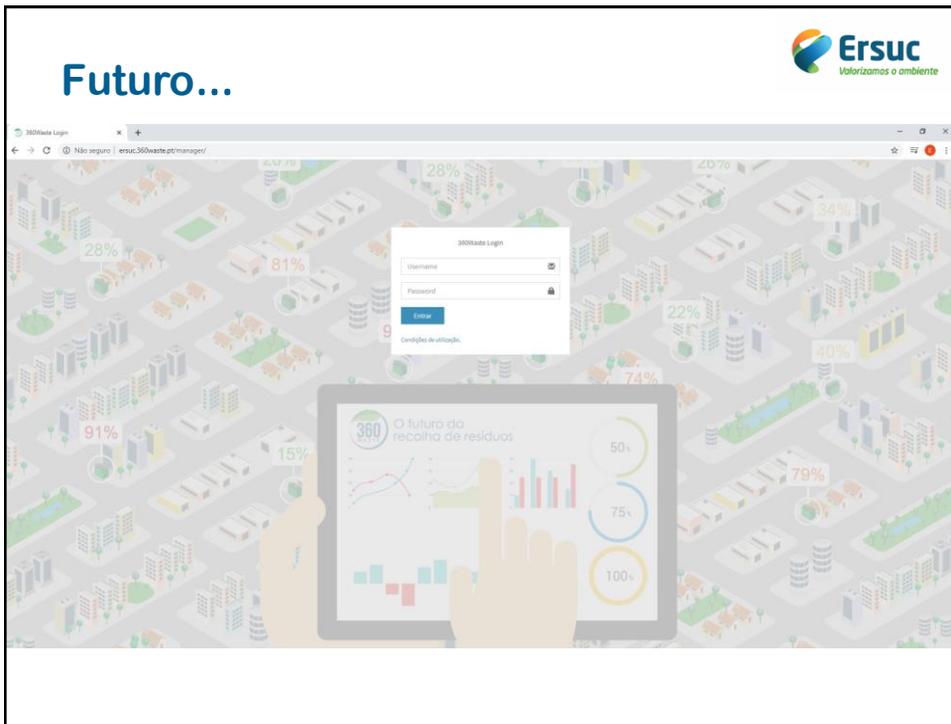
Gestão de Avarias

Conhecer os Níveis de Enchimento

Redefinir / Otimização de circuitos

29

29



**Futuro...**

**Ersuc**  
Valorizamos o ambiente

360Waste Login

360Waste Login

360Waste Login

O futuro da recolha de resíduos

28% 81% 20% 34% 22% 40% 74% 79% 91% 15%

50% 75% 100%

30

Muito Obrigada pela Atenção.



Recolha Seletiva e Triagens  
mjoao.conceicao@ersuc.pt

31

Sensores de Volume e a  
Plataforma 360Waste

Hélio Silva, CEO EVOX



32

32



2016	2017/2018	2019	2020
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Início</li> <li>• Desenvolvimento do primeiro sensor de volume</li> <li>• Software muito básico</li> <li>• Primeiro piloto com sensores</li> <li>• Primeiros clientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimento no software</li> <li>• Melhoramento do sensor de volume</li> <li>• Desenvolvimento de tecnologia RFID</li> <li>• Parcerias de R&amp;D</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimento no software</li> <li>• Melhoramento à tecnologia RFID</li> <li>• Captação de novos clientes com maiores exigências</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Software para controlo e produção de fardos</li> <li>• Can Bus dos veículos</li> <li>• Tecnologias de visão computadorizada</li> </ul>

+14 projetos ativos em Portugal  
10 Colaboradores  
Investigação e desenvolvimento




33



**Visão**

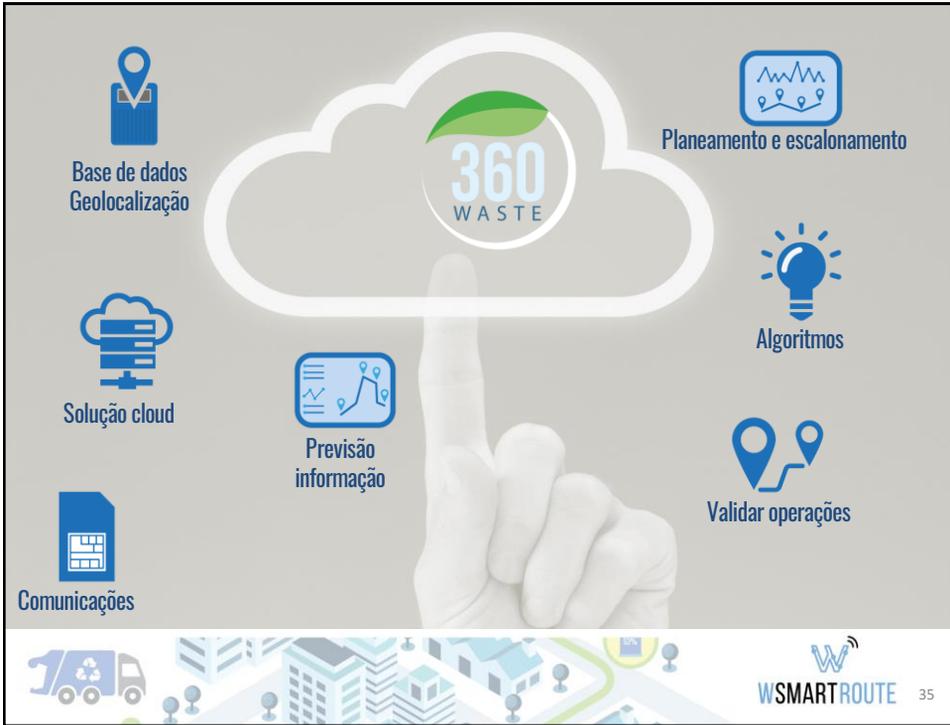
**Maximizar o valor da tecnologia, incrementando inovação.**

**Estratégia**

**Desenvolver soluções inteligentes que resolvam os desafios dos nossos clientes**




34



35



36

## 360Waste

**Sensor pequeno e robusto**  
**Autonomia para +/- 10 anos**  
 Estratégias de poupança de energia  
**Comunicações integradas**  
**Estratégias de aferição de volume**  
 Ultrassom  
 Tempo real







 37

37

## 360Waste

**Comunicações**  
 Cartão SIM, LoRa, NB/IoT, LTE, 5G  
**A instalação de sensores deve ser estratégica**  
 Obtenção de resultados imediatos  
 Contentores mais distantes  
 Contentores de difícil acesso  
 Outras estratégias







 38

38



39



40

# 360Waste

## Circuitos estáticos

- Observação dos níveis de enchimento – sensores ou operadores
- Reclamações ou pedidos de recolha

## Algoritmos de ajuda à decisão

**Gestor**  
Verificar, Ajustar, Decidir, Atribuir circuito

**Operador vai receber e tem de compreender o serviço que vai efetuar**






41

41

# 360Waste

## Após o circuito

- Resumo detalhado do circuito
- Habilitar informação para a próxima tomada de decisão
- Planear equipa + circuito + veículo
- Comunicar a recolha
- Ciclo recomeça



Km	<span style="color: red;">■</span> Não Recolhidos <span style="color: blue;">■</span> Recolhidos	% Aproveitamento da Recolhas
96 Km	<input type="button" value="Pesquisar"/> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 5px;"> <span style="color: blue;">■</span> 32           <span style="color: red;">■</span> 0         </div> 	66.0%
139 Km	<input type="button" value="Pesquisar"/> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 5px;"> <span style="color: blue;">■</span> 71           <span style="color: red;">■</span> 10         </div> 	59.0%
118 Km	<input type="button" value="Pesquisar"/> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 5px;"> <span style="color: blue;">■</span> 38           <span style="color: red;">■</span> 37         </div> 	35.0%
129 Km	<input type="button" value="Pesquisar"/> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 5px;"> <span style="color: blue;">■</span> 90           <span style="color: red;">■</span> 8         </div> 	60.0%
120 Km	<input type="button" value="Pesquisar"/> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 5px;"> <span style="color: blue;">■</span> 67           <span style="color: red;">■</span> 15         </div> 	48.0%
105 Km	<input type="button" value="Pesquisar"/> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 5px;"> <span style="color: blue;">■</span> 45           <span style="color: red;">■</span> 49         </div> 	26.0%
177 Km	<input type="button" value="Pesquisar"/> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 5px;"> <span style="color: blue;">■</span> 72           <span style="color: red;">■</span> 30         </div> 	41.0%
115 Km	<input type="button" value="Pesquisar"/> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 5px;"> <span style="color: blue;">■</span> 75           <span style="color: red;">■</span> 43         </div> 	46.0%




42

42

## 360Waste

**Dinâmico é complicado**

- VRP
- Mudança de hábitos
- Circuitos com base nos níveis de enchimento, reclamações
- Comunicação com o operador**
- Tempo real

**Comunicação efetiva**

- Operador é um factor importante de todo o sistema
- Ferramentas de ajuda**
- Tem uma reclamação activa para resolver, navegar, alertas
- Destinos com mapas e visualização satélite
- Navegação por voz



**evox**  
Inspiring Innovation





43

43

## 360Waste

**Tecnologia também tem de ser dinâmica**

- Permitir atualizações rápidas
- Agilidade/Interfaces conhecidas
- Android
- Tecnologias cloud
- Recolher informação**
- Operadores
- Sensores
- Cruzamento de informação
- Interligar o ser humano**



**evox**  
Inspiring Innovation

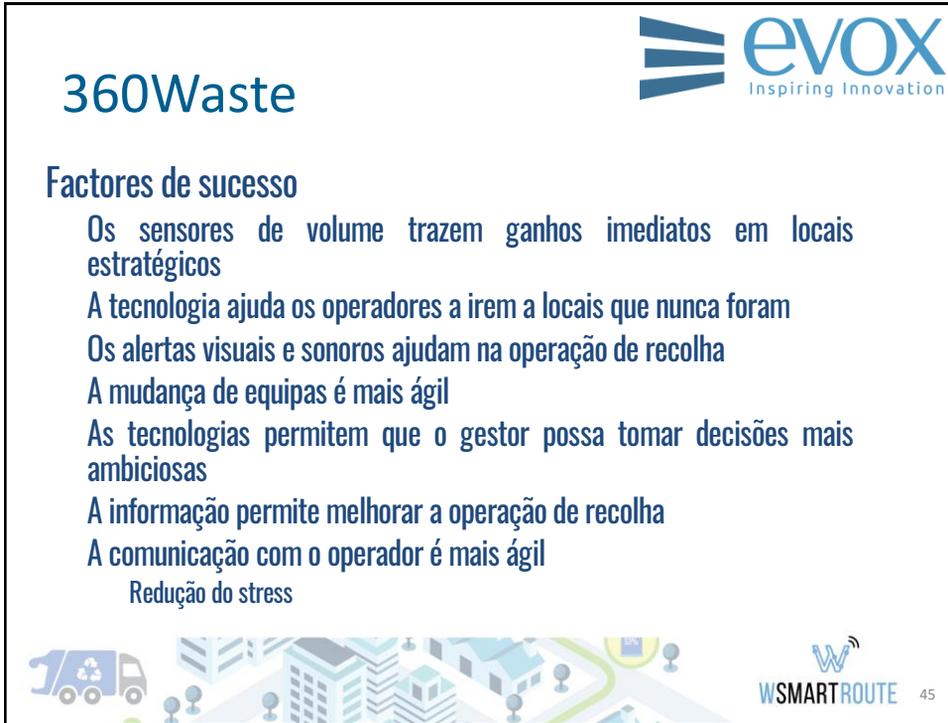






44

44



**360Waste**

**evox**  
Inspiring Innovation

**Factores de sucesso**

- Os sensores de volume trazem ganhos imediatos em locais estratégicos
- A tecnologia ajuda os operadores a irem a locais que nunca foram
- Os alertas visuais e sonoros ajudam na operação de recolha
- A mudança de equipas é mais ágil
- As tecnologias permitem que o gestor possa tomar decisões mais ambiciosas
- A informação permite melhorar a operação de recolha
- A comunicação com o operador é mais ágil
- Redução do stress



**W**  
SMARTROUTE 45

45



**360Waste**

**evox**  
Inspiring Innovation

**Redução de custos**

- Utilização da informação recolhida
  - Sensores ou observação ou outros
- Render a capacidade do veículo + o horário de trabalho + o custo de utilização
- Reduzir custos é importante mas o nível de serviço tem de ser positivo
- Todos os dados recolhidos são importantes
  - Inclinações, altitudes
  - Distâncias, tempos
  - Consumos de combustível
- Os dados de recolha vão ser cada vez mais importantes
  - Eficiência, VRP, decisão, comunicação



**W**  
SMARTROUTE 46

46

**360Waste**



**O futuro não vai ser exigente, vai ser MUITO, mas...**

- As tecnologias já existem e os resultados são positivos
- As comunicações já não são um problema
- Os algoritmos estão cada vez mais sofisticados
  - Calculo de tendências, VRPs, turn by turn, sensores de volume
- As tecnológicas e os gestores têm de ser uma equipa
- As parcerias tecnológicas – Investigação e desenvolvimento são importantes

**Indefinição na industrial automóvel**

**Veículos elétricos – capacidade limitada**

**Será que consigo fazer render o veículo e voltar ?**


 47

47

**360Waste**

**Obrigado**



**Hélio Silva**  
**m: 963174989**


 48

48



## Resultados do Projeto WSmart Route

Tânia Ramos, Investigadora Responsável

 TÉCNICO LISBOA

 WSMARTROUTE

49

49

## Objetivos do Projeto

- 1) Analisar métodos de monitorização dos níveis de enchimento: leituras dos sensores vs. registos manuais dos motoristas
- 2) Desenvolver e testar modelos matemáticos e algoritmos para definir rotas ótimas dinâmicas, considerando os dados fornecidos pelos sensores
- 3) Avaliar os benefícios da utilização de sensores + otimização de rotas, comparando a situação atual (recolha cega) com a situação futura (recolha inteligente)



 WSMARTROUTE

50

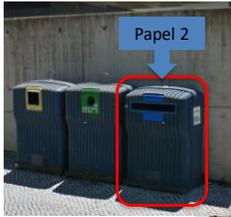
50

# Sensores vs. Registos Manuais



- Seleção de 4 contentores:

Rua Pedro Nunes



Rua Belisário Pimenta



# Sensores vs. Registos Manuais



Instalação do sensor com rebites



Sensor instalado, em operação



# Sensores vs. Registos Manuais

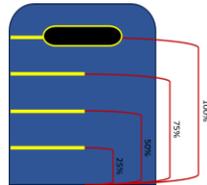
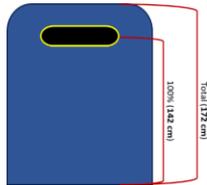


## Acesso à informação dos sensores - Plataforma 360 Waste

	Descrição	Morada	Volume Atual	%/dia	Data de Leitura	Com Sensor
+	42786 Papel 1 - Exterior 2500 litros - Polietileno - Resíduos Papel e Cartão	Rua Belisário Pimenta, Coimbra COIMBRA COIMBRA Santo António dos Olivais	<div style="width: 32%;"><div style="background-color: green;"></div></div> 32%	3	19/03/2019 14:36	Sim
+	40442 Vidro 1 - Exterior 2500 litros - Polietileno - Resíduos Vidro	Rua Belisário Pimenta, Coimbra COIMBRA COIMBRA Santo António dos Olivais	<div style="width: 20%;"><div style="background-color: green;"></div></div> 20%	0	18/03/2019 20:33	Sim
+	04709 Embalagens 1 - Exterior 2500 litros - Polietileno - Resíduos Plástico e Metal	Rua Belisário Pimenta, Coimbra COIMBRA COIMBRA Santo António dos Olivais	<div style="width: 78%;"><div style="background-color: red;"></div></div> 78%	10	19/03/2019 15:39	Sim
+	16616 Papel 2 - Exterior 2500 litros - Polietileno - Resíduos Papel e Cartão	Rua Pedro Nunes, Coimbra COIMBRA COIMBRA Santo António dos Olivais	<div style="width: 29%;"><div style="background-color: green;"></div></div> 29%	3	19/03/2019 02:20	Sim



# Sensores vs. Registos Manuais



## Limpeza do Conteúdo



## Colocação das Marcas



## Folha de Registo

**WSmart Route**

**Registo de Taxa de Enchimento de Ecoponto**  
Este formulário serve para registar o nível de enchimento de um ecoponto e a forma da superfície do conteúdo do ecoponto. Por favor, coloque o seu nome e escreva a data e a hora quando estiver a preencher um registo, marcando com uma cruz (X) a opção adequada. A primeira linha ilustra um exemplo de um

Ecoponto 1: (Vidro) - (rua)  
Ecoponto 2: (Embalagens) - (rua)  
Ecoponto 4: (Papel) - (rua)

Nome	Data (dd-MM-aaaa)	Hora (HH:mm)	Ecoponto				Enchimento					Superfície			
			1	2	3	4	0%	50%	80%	100%	>100%	Plana	Irregular		
	15-02-2019	17:25	X					X						X	



# Sensores vs. Registos Manuais



Financiado por: MIT Portugal FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia

**WSmart Route**

**Registo de Taxa de Enchimento de Contentores**

Este formulário serve para registo do nível de enchimento de um contentor e a forma da superfície do seu conteúdo. Por favor, coloque o seu nome e escreva a data e a hora quando estiver a preencher um registo, marcando com uma cruz (X) a opção adequada.

Nome		Ecoponto				Enchimento						Superfície		Recolha
Data (dd-MM-aaaa)	Hora (HH:mm)	Vidro	Embalagens	Papel 1	Papel 2	0%	25%	50%	75%	100%	>100%	Plana	Irregular	
26-04-19	01:37			X				X					X	X
26-04-19	01:45		X							X			X	X
26-04-19	01:45	X						X						
26-04-19	01:45		X					X						
29-04-19	01:47			X	X								X	X
29-04-19	01:55		X							X				
29-04-19	01:55	X						X						
29-04-19	01:55	X				X								



55

# Sensores vs. Registos Manuais

Período de Monitorização: 15 Fevereiro 2019 a 30 Setembro 2019

↩ Período de Análise: 1 Março 2019 a 30 Setembro 2019

Nº Observações		Vidro	Embalagens	Papel 1	Papel 2
<b>Sensores</b>	Total	91*	690	695	372
<b>Registos Manuais</b>	Total	124	169	179	156
	Outliers	13	19	16	25

\* 1 Março 2019 a 16 Junho 2019

Data (dd-MM-aaaa)	Hora (HH:mm)	Ecoponto				Enchimento						Superfície		Recolha
		Vidro	Embalagens	Papel 1	Papel 2	0%	25%	50%	75%	100%	>100%	Plana	Irregular	
6-6-2019	02:22		X					X					X	
	02:28		X							X			X	
9-5-2019	02:00		X	X		X								
	02:05		X								X			



56

# Sensores vs. Registos Manuais

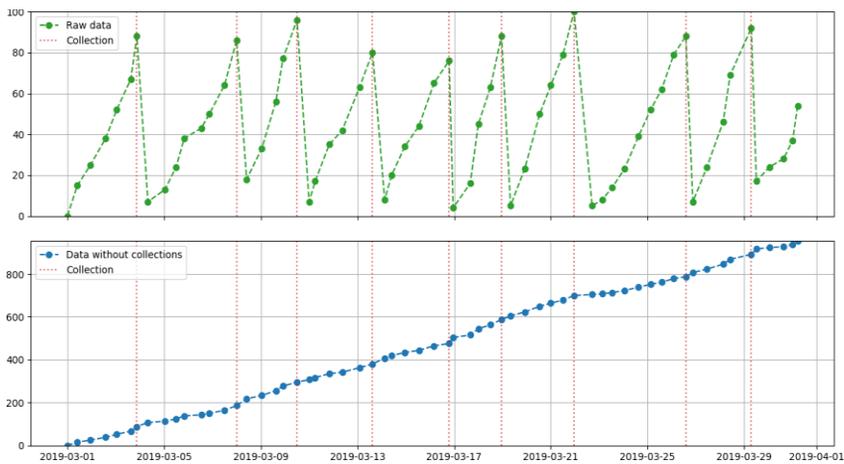
Período de Análise: 1 Março 2019 a 30 Setembro 2019

	Vidro	Embalagens	Papel 1	Papel 2
<b>Recolhas Realizadas</b>	11 <small>20 em 20 dias</small>	66 <small>3 em 3 dias</small>	67 <small>3 em 3 dias</small>	39 <small>5 em 5 dias</small>
<b>Transbordos</b>	0	20	20	2

**Qual o número ideal de recolhas, sem transbordos?**



# Sensores vs. Registos Manuais



# Sensores vs. Registos Manuais

Período de Análise: 1 Março 2019 a 30 Setembro 2019

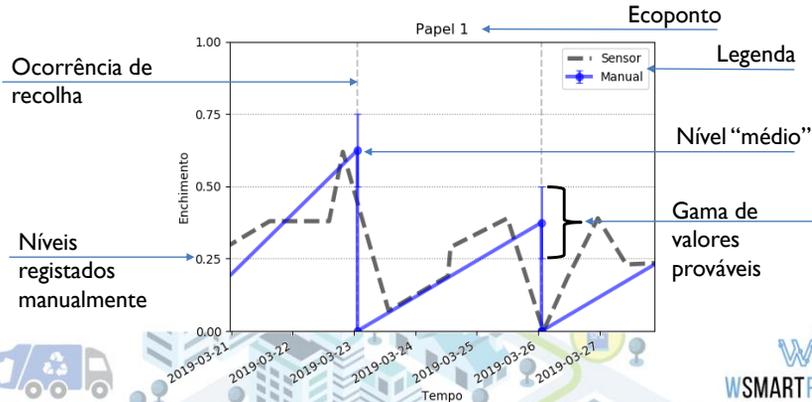
	Vidro	Embalagens	Papel 1	Papel 2
<b>Recolhas Realizadas</b>	11 <small>20 em 20 dias</small>	66 <small>3 em 3 dias</small>	67 <small>3 em 3 dias</small>	39 <small>5 em 5 dias</small>
<b>Nº Ideal de Recolhas (sensores)</b>	4 <small>53 em 53 dias</small>	44 <small>5 em 5 dias</small>	42 <small>5 em 5 dias</small>	15 <small>14 em 14 dias</small>

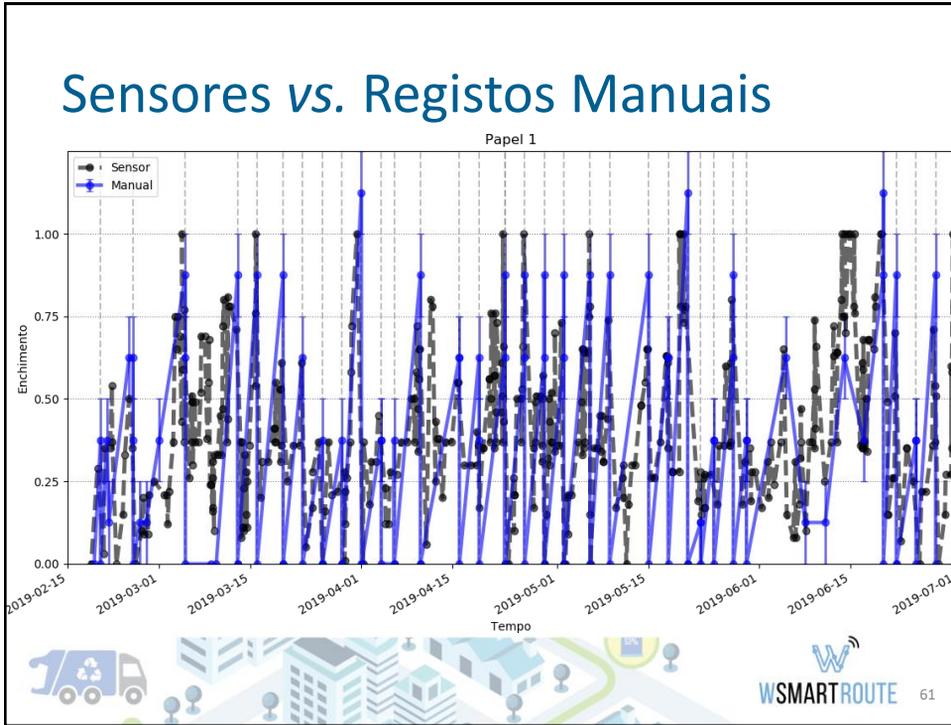


# Sensores vs. Registos Manuais

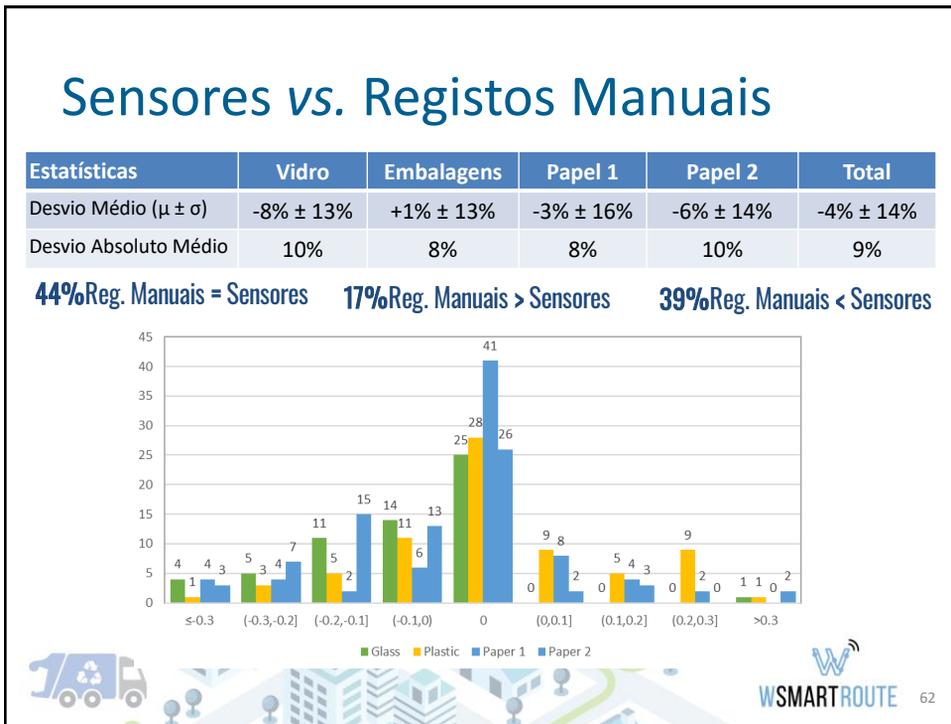
**Qual o desvio dos registos manuais face às leituras dos sensores?**

Os desvios são calculados pela diferença entre o registo manual e o registo do sensor anterior mais próximo.





61



62

## Sensores vs. Registos Manuais

Qual a fiabilidade dos registos dos motoristas?

Coefficientes de Correlação

	Vidro	Emb.	Papel 1	Papel 2
Apenas os Registos do Motorista A (Rota Papel)	0.52	0.08	0.54	0.51
Apenas os Registos do Motorista B (Rota Embalagens)	0.44	0.56	0.14	0.24

O motorista responsável pela recolha do material Embalagens é mais fiável a reportar os níveis de enchimento do material Embalagens do que do material Papel

O motorista responsável pela recolha do material Papel é mais fiável a reportar os níveis de enchimento do material Papel do que do material Embalagens

WSMARTROUTE 63

63

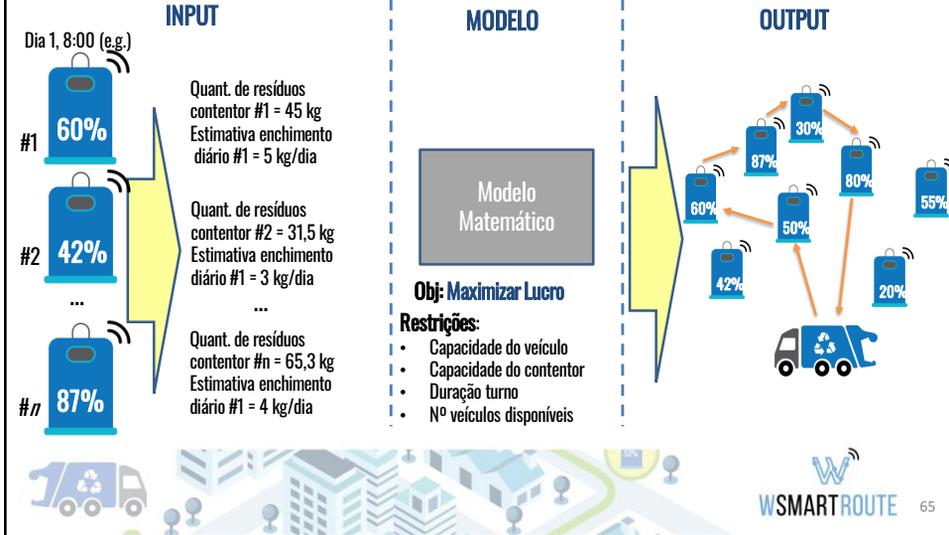
## Objetivos do Projeto

- 1) Analisar métodos de monitorização dos níveis de enchimento: leituras dos sensores vs. registos manuais dos motoristas
- 2) Desenvolver e testar modelos matemáticos e algoritmos para definir rotas ótimas dinâmicas, considerando os dados fornecidos pelos sensores
- 3) Avaliar os benefícios da utilização de sensores + otimização de rotas, comparando a situação atual (recolha cega) com a situação futura (recolha inteligente)



64

# Planeamento de uma Recolha Inteligente de Resíduos

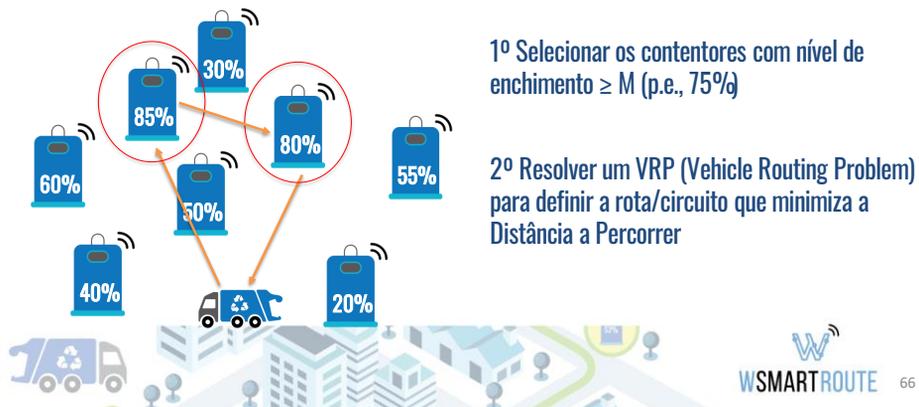


65

# Planeamento de uma Recolha Inteligente de Resíduos

## 3 Estratégias:

### 1) Visitar todos os contentores com um nível de enchimento $\geq M$

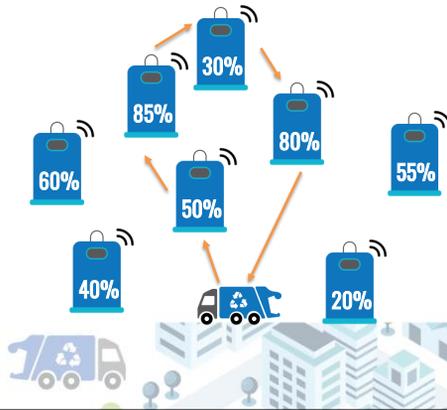


66

## Planeamento de uma Recolha Inteligente de Resíduos

### 3 Estratégias:

2) Resolver um VRP with Profits todos os dias, onde se define quais os contentores que devem ser visitados e qual a sequência ótima de visita



- Não há uma seleção à partida de quais os contentores a visitar
- As decisões de Seleção e Definição da Rota são integradas com o objetivo de Maximizar o Lucro
- $\text{Lucro} = \text{kg recolhidos} \times \text{Valor Contrapartida}^* - \text{km percorridos} \times \text{Custo/km}$

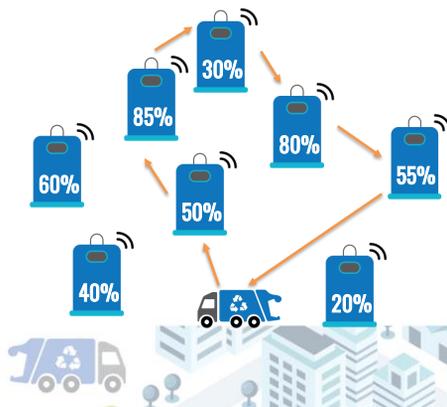
\* Valor correspondente à recolha (excluir a triagem)

67

## Planeamento de uma Recolha Inteligente de Resíduos

### 3 Estratégias:

3) Resolver um VRP with Profits apenas nos dias em que se estima que pelo menos 1 contentor entre em transbordo no próprio dia ou no seguinte



- São dadas estimativas de enchimento para cada contentor

Estimativa enchimento diário = 25%/dia

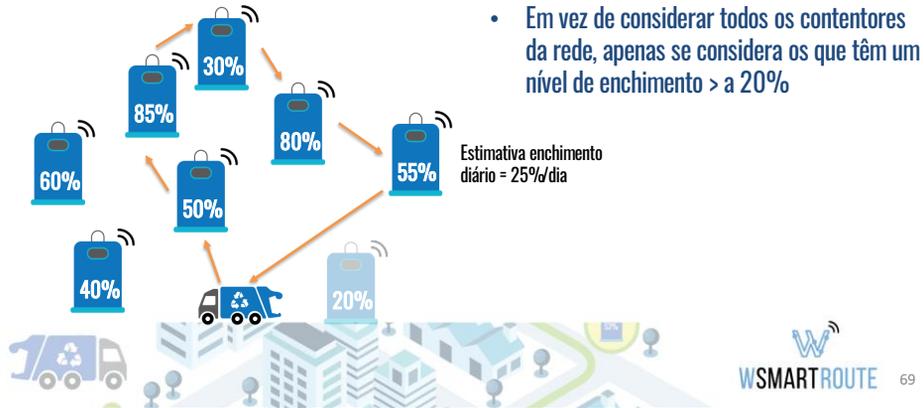
- É obrigatório recolher os contentores em que se estima que vai existir transbordo hoje ou amanhã

68

## Planeamento de uma Recolha Inteligente de Resíduos

### 3 Estratégias:

3') Resolver um VRP with Profits apenas nos dias em que se estima que pelo menos 1 contentor entre em transbordo no próprio dia ou no seguinte



69

## Objetivos do Projeto

1) Analisar métodos de monitorização dos níveis de enchimento: leituras dos sensores vs. registos manuais dos motoristas

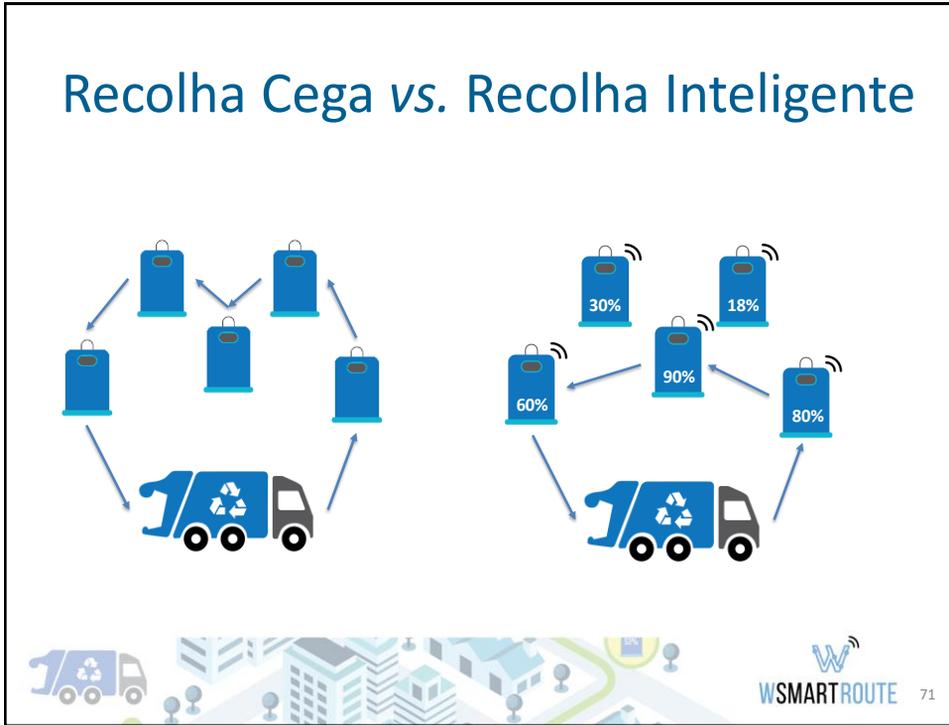
2) Desenvolver e testar modelos matemáticos e algoritmos para definir rotas ótimas dinâmicas, considerando os dados fornecidos pelos sensores

3) Avaliar os benefícios da utilização de sensores + otimização de rotas, comparando a situação atual (recolha cega) com a situação futura (recolha inteligente)



70

## Recolha Cega vs. Recolha Inteligente



71

## Recolha Cega vs. Recolha Inteligente

### Estudo de caso:

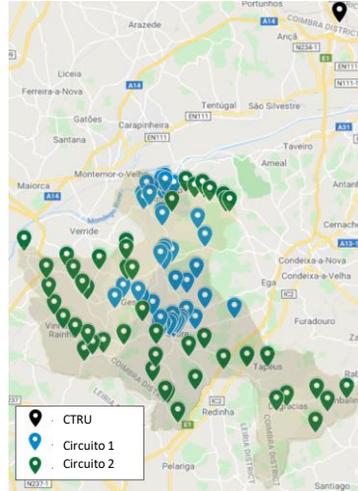
- Município de **Soure**
  - Material Papel/Cartão
  - 98 Contentores
  - 2 Circuitos:
    - Circuito 1: 50 contentores
    - Circuito 2: 48 contentores
- Nº Habitantes: 19 000
  - Área: 265,1 km<sup>2</sup>
  - Densidade Populacional: 72,9 hab/km<sup>2</sup>
  - 408 Ton recolhidas em Recolha Seletiva
    - 22,6 kg/habitante
  - 120 Ton recolhidas de Papel/Cartão
    - 6,62 kg/habitante



72

# Recolha Cega vs. Recolha Inteligente

	Circuito 1	Circuito 2
N <sup>a</sup> Contentores	50	48
Intervalo médio entre recolhas (dias)	7.0	6.9
Duração média do circuito (h)	6h14m	6h25m
Distância média do circuito (km)	138.6	174.5
Quantidade média recolhida por circuito (kg)	1234.2	752.8
Quantidade média recolhida por contentor (kg/contentor)	24.7	15.7



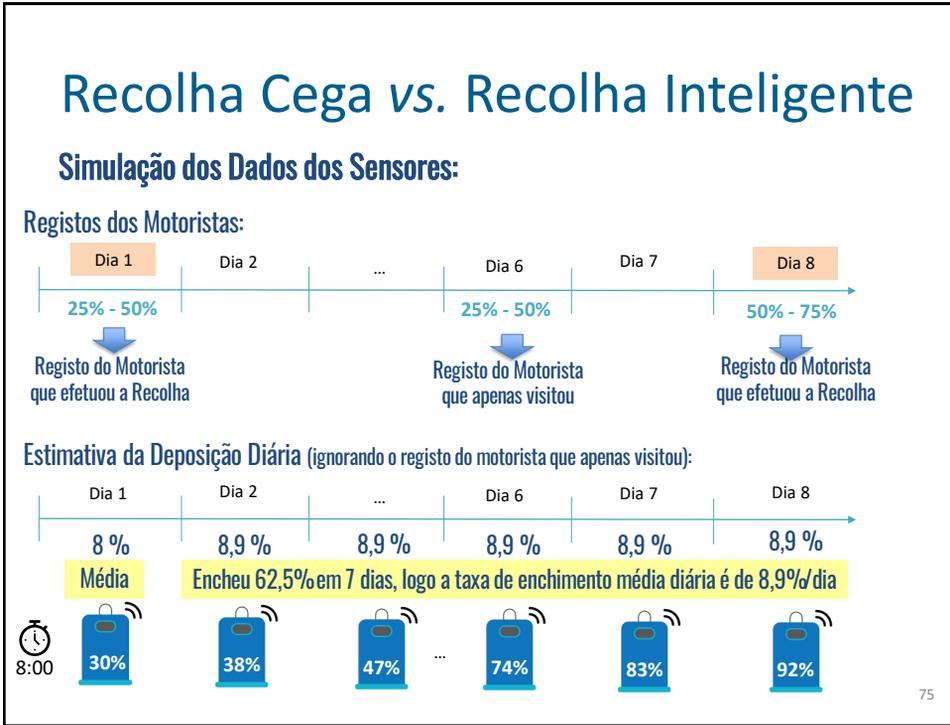
# Recolha Cega vs. Recolha Inteligente

**Motoristas registaram o nível de enchimento de cada contentor no momento da Recolha**

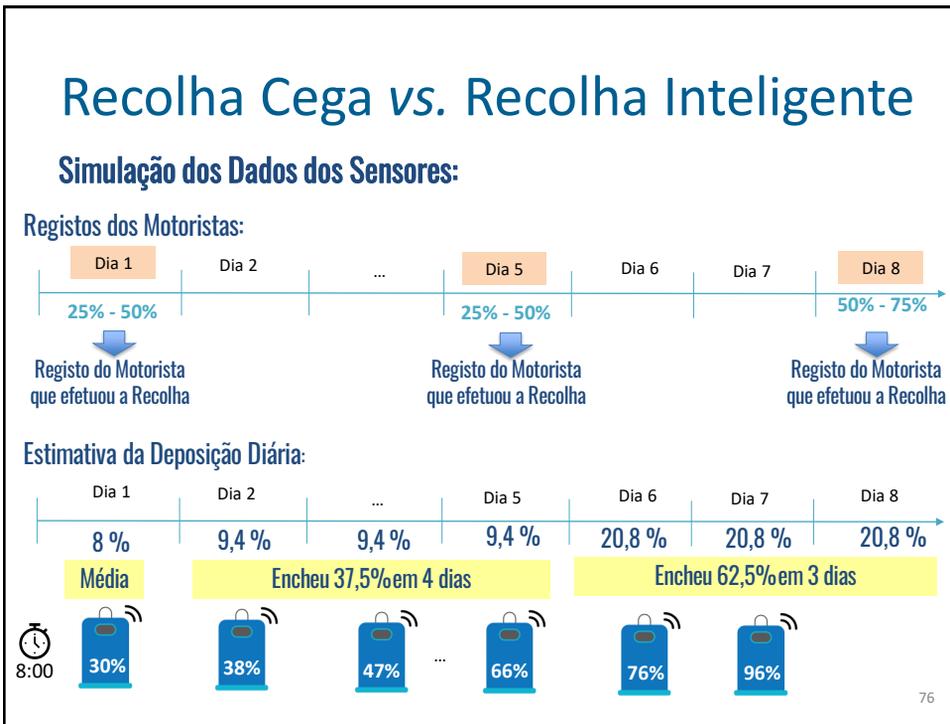
Período de Análise: 2 Abril 2019 a 23 Julho 2019

N <sup>o</sup> Contentores	0%	]0%-25%]	]25%-50%]	]50%-75%]	]75%-100%]	>100%	N/A	Total
Circuito 1	148	245	109	135	88	0	125	850
Circuito 2	47	419	128	140	66	0	16	816
Total	195	664	237	275	154	0	141	1666





75



76

# Recolha Cega vs. Recolha Inteligente

Período de Análise: 2 Abril 2019 a 29 Abril 2019 (28 dias)

## Situação Real

KPI	Dia 1 02/04/2019	Dia 2 03/04/2019	Dia 8 09/04/2019	Dia 10 11/04/2019	Dia 14 15/04/2019	Dia 19 20/04/2019	Dia 22 23/04/2019	Dia 25 26/04/2019	Dia 28 29/04/2019	TOTAL
Nº Circuito	1	2	1	2	1	1	2	1	2	-
Lucro (€)	45.96	26.39	-8.09	-23.98	4.33	-5.32	-13.07	-41.47	-71.16	-86.42
Peso (kg)	1531.07	1484.95	1103.52	1239.82	1198.94	1110.33	1365.05	811.65	885.44	10730.77
Distância (km)	139.46	153.44	141.73	174.12	140.86	139.78	178.38	139.76	178.38	1385.91
Nº Contentores	50	35	48	46	50	50	48	50	48	425
Rácio (kg/km)	10.98	9.68	7.79	7.12	8.51	7.94	7.65	5.81	4.96	7.74
Nº Veículos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Tx. Utilização (Max 2200 kg)	70%	67%	50%	56%	54%	50%	62%	37%	40%	-

$$1531,07 \text{ kg} \times 0,121\text{€/kg} - 139,46 \text{ km} \times 1\text{€/km} = 45,96\text{€}$$

Valor Contrapartida (Recolha)  
173€/Ton x 70%



77

# Recolha Cega vs. Recolha Inteligente

Período de Análise: 2 Abril 2019 a 29 Abril 2019 (28 dias)

## Resultados Estratégia 1 (limite 75%)

KPI	Dia 1 02/04/2019	Dia 3 04/04/2019	Dia 4 05/04/2019	Dia 5 06/04/2019	Dia 6 07/04/2019	Dia 7 08/04/2019	(...)	Dia 28 29/04/2019	TOTAL
Nº Circuito	-	-	-	-	-	-		-	-
Lucro (€)	11.66	-66.10	-70.03	-71.03	-46.13	-76.35		-68.4	-1513.94
Peso (kg)	967.43	128.93	243.33	251.59	511.9	378.4		365.23	9083.09
Distância (km)	105.49	81.72	99.93	101.5	108.13	122.18		112.63	2613.87
Nº Contentores	14	2	4	4	8	6		6	143
Rácio (kg/km)	9.17	1.58	2.44	2.48	4.73	3.10		3.24	3.38
Nº Veículos	1	1	1	1	1	1		1	27
Tx. Utilização (Max 2200 kg)	44%	6%	11%	11%	23%	17%		17%	-



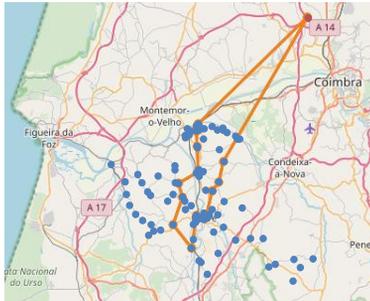
78

# Recolha Cega vs. Recolha Inteligente

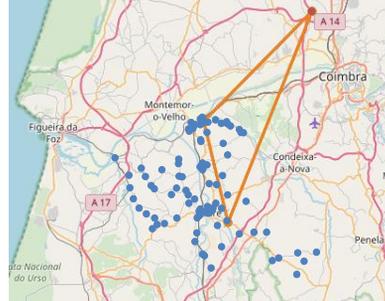
Período de Análise: 2 Abril 2019 a 29 Abril 2019 (28 dias)

Resultados Estratégia 1 (limite 75%)

Dia 02/04/2019 (14 contentores)



Dia 04/04/2019 (2 contentores)



79

79

# Recolha Cega vs. Recolha Inteligente

Período de Análise: 2 Abril 2019 a 29 Abril 2019 (28 dias)

Resultados Estratégia 2 (VRPP todos os dias)

KPI	Dia 1 02/04/2019	Dia 4 05/04/2019	Dia 8 09/04/2019	Dia 12 13/04/2019	Dia 16 17/04/2019	Dia 20 21/04/2019	Dia 24 25/04/2019	Dia 28 29/04/2019	TOTAL
Nº Circuito	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lucro (€)	135.3	7.0	4.9	22.7	6.3	9.8	17.1	22.3	226
Peso (kg)	2199.9	1376.6	1346.9	1468.7	1030.8	1197.6	1472.6	1285.3	11378
Distância (km)	131.1	159.7	158.2	155.2	118.5	135.2	161.2	133.3	1152
Nº Contentores	59	72	68	74	55	63	76	62	529
Rácio (kg/km)	16.8	8.6	8.5	9.5	8.7	8.9	9.1	9.6	10
Nº Veículos	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Tx. Utilização (Max 2200 kg)	100%	63%	61%	67%	47%	54%	67%	58%	-



80

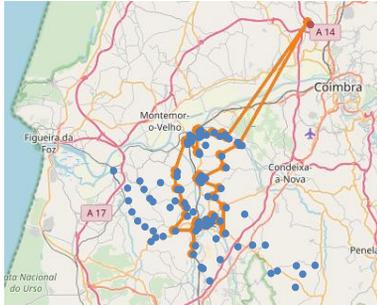
80

# Recolha Cega vs. Recolha Inteligente

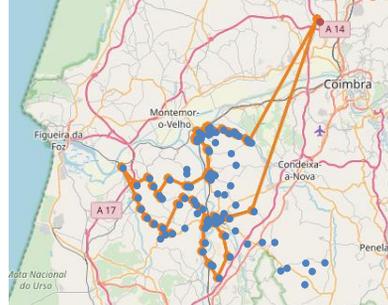
Período de Análise: 2 Abril 2019 a 29 Abril 2019 (28 dias)

Resultados Estratégia 2 (VRPP todos os dias)

Dia 02/04/2019 (59 contentores)



Dia 05/04/2019 (72 contentores)



81

81

# Recolha Cega vs. Recolha Inteligente

Período de Análise: 2 Abril 2019 a 29 Abril 2019 (28 dias)

Resultados Estratégia 3 (VRPP apenas quando se estima risco de transbordo)

KPI	Dia 1 02/04/2019	Dia 3 04/04/2019	Dia 9 10/04/2019	Dia 16 17/04/2019	Dia 21 22/04/2019	Dia 27 28/04/2019	TOTAL
Nº Circuito	-	-	-	-	-	-	-
Lucro (€)	129.4	-19.1	62.2	101.8	32.3	78.6	<b>385</b>
Peso (kg)	2087.9	1332.4	2037.6	2035.9	1718.3	2047.1	<b>11259</b>
Distância (km)	123.4	180.5	184.6	144.7	175.8	169.3	<b>978</b>
Nº Contentores	56	82	82	69	82	80	<b>451</b>
Rácio (kg/km)	16.9	7.4	11.0	14.1	9.8	12.1	<b>11.5</b>
Nº Veículos	1	1	1	1	1	1	<b>6</b>
Tx. Utilização (Max 2200 kg)	95%	61%	93%	93%	78%	93%	



82

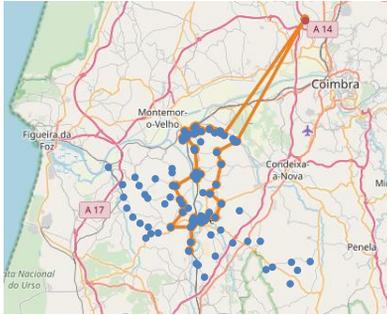
82

# Recolha Cega vs. Recolha Inteligente

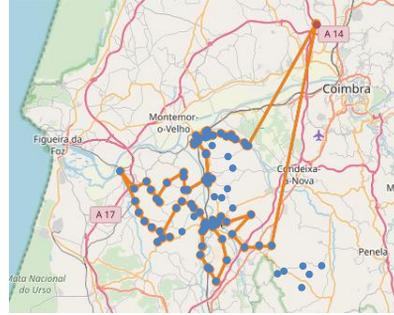
Período de Análise: 2 Abril 2019 a 29 Abril 2019 (28 dias)

Resultados Estratégia 3 (VRPP apenas quando se estima risco de transbordo)

Dia 02/04/2019 (56 contentores)



Dia 04/04/2019 (82 contentores)



83

# Recolha Cega vs. Recolha Inteligente

Período de Análise: 2 Abril 2019 a 29 Abril 2019 (28 dias)

Resultados Estratégia 3' (VRPP apenas quando se estima risco de transbordo e considerando contentores com nível de enchimento > 20%)

KPI	Dia 1 02/04/2019	Dia 5 06/04/2019	Dia 9 10/04/2019	Dia 16 17/04/2019	Dia 20 21/04/2019	Dia 24 25/04/2019	TOTAL
Nº Circuito	-	-	-	-	-	-	-
Lucro (€)	125.7	44.9	1.7	110.1	1.4	35.9	<b>320</b>
Peso (kg)	2098.6	1781.8	1472.4	2044	1044.8	1565.2	<b>10007</b>
Distância (km)	128.4	170.9	176.6	137.4	125.1	153.6	<b>892</b>
Nº Contentores	49	67	65	66	41	71	<b>359</b>
Rácio (kg/km)	16.3	10.4	8.3	14.9	8.4	10.2	<b>11.2</b>
Nº Veículos	1	1	1	1	1	1	<b>6</b>
Tx. Utilização (Max 2200 kg)	95%	81%	67%	93%	47%	71%	-



84

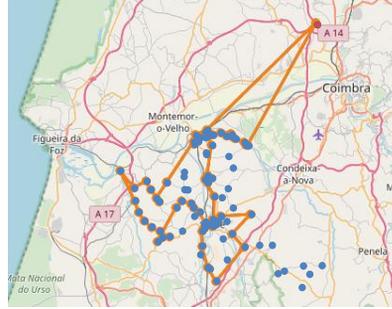
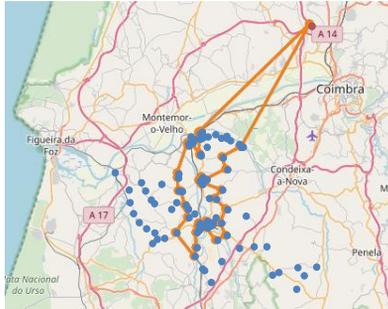
# Recolha Cega vs. Recolha Inteligente

Período de Análise: 2 Abril 2019 a 29 Abril 2019 (28 dias)

**Resultados Estratégia 3' (VRPP apenas quando se estima risco de transbordo e considerando contentores com nível de enchimento > 20%)**

Dia 02/04/2019 (49 contentores)

Dia 06/04/2019 (67 contentores)



# Recolha Cega vs. Recolha Inteligente

Período de Análise: 2 Abril 2019 a 29 Abril 2019 (28 dias)



## Principais Conclusões

- Os registos dos motoristas têm fiabilidade, principalmente quando o registo é feito pelo motorista responsável pela recolha do material em causa
- O desvio absoluto médio entre os registos manuais e as leituras dos sensores é de cerca de 9%
- 44% dos Registos manuais = Leituras dos sensores (situam-se no mesmo intervalo)
- Estabelecer um limite mínimo de nível de enchimento para efetuar a recolha não é uma boa estratégia (Estratégia 1, Prejuízo=-1500€)
- A rota a realizar hoje deve ter em conta uma estimativa dos níveis de enchimento futuros (Estratégia 3 (Lucro = 385€) vs. Estratégia 2 (Lucro=226€))
- Mesmo os contentores com níveis de enchimento baixos podem “valer a pena” ser recolhidos (Estratégia 3 (Lucro=385€) vs. Estratégia 3' (Lucro=320€))



87

## Debate: Recomendações e Desafios para uma Recolha (mais) Inteligente de Resíduos

Moderador: António Pais Antunes



UNIVERSIDADE DE  
COIMBRA



88

88

# Recomendações e Desafios

## • Recolha Cega vs. Recolha Inteligente

Cega

### Situação Atual

- Sem sensores
- Rotas estáticas (circuitos pré-definidos, não alteram, frequência pré-definida)
- A utilização registada pelos motoristas não é tida em conta

Míope

### Estratégia 1

- Com sensores
- Definição de um limite de nível de enchimento para efetuar a recolha, sendo que apenas os contentores acima desse limite são recolhidos (todos os dias há contentores acima desse limite...)

### Estratégia 2

- Com sensores
- O algoritmo de definição de rotas é resolvido todos os dias e maximiza o lucro diário (mas não consegue “ver” para a frente...)



W  
SMARTROUTE

89

89

# Recomendações e Desafios

## • Recolha Cega vs. Recolha Inteligente

Inteligente

### Estratégia 3

- Com sensores em todos os contentores
- O algoritmo de definição de rotas é resolvido apenas nos dias com risco de transbordo e maximiza o lucro diário (consegue “ver” 2 dias à frente, utilizando estimativas com base no valor médio de enchimento e desvio-padrão)

Mais Inteligente

### Estratégia Y

- Com sensores
- “Ver” mais dias à frente (p.e., 7 dias)
- Maximizar o lucro para um horizonte temporal em vez de Maximizar o lucro diário

DEBATE



W  
SMARTROUTE

90

90

## Recomendações e Desafios

### • Recolha Cega vs. Recolha Inteligente

#### Simulação "Look Ahead"

	Dia 1	Dia 2	...	Dia 6	Dia 7	Dia 8
Obrigatório	(1): 30 (2): 15 (3): 85 (4): 10 (5): 18 (6): 20 (7): 40	(1): 35,1 (2): 24,6 (3): 15,7 (4): 22,0 (5): 24,2 (6): 40,1 (7): 50,3	...	...	(1): 60,6 (2): 97,6 (3): 94,2 (4): 82,0 (5): 66,2 (6): 110,6 (7): 105,3 (8): 64,0	(1): 65,7 (2): 112,2 (3): 109,9 (4): 94,0 (5): 74,6 (6): 125,7 (7): 116,3 (8): 76,8
Obrigatório	(8): 87	(8): 12,8				

O contentor (3) reentra em transbordo dia 8, logo tem de ser recolhido no dia 7

Obrigatórios Dia 1:  
3, 6, 7 e 8



91

## Recomendações e Desafios

### • Recolha Cega vs. Recolha Inteligente

#### Problema de Maximizar Lucro para um Horizonte temporal

Tempo computacional "explode" (qual o tempo computacional aceitável?)  
-> Necessidade de heurísticas

DEBATE



92

## Recomendações e Desafios

### • Análise Custo-Benefício

#### Simulação hipotética – Caso Soure

Benefício anual estimado (caso Soure) →  $471\text{€}/\text{mês} \times 12 \text{ meses} = 5.652\text{€}$

Investimento estimado (caso Soure) →  $98 \text{ contentores} \times 200\text{€} = 19.600\text{€}$

Período de Recuperação do Investimento:  
(-) 3,5 anos

Período de Recuperação do Investimento: 1 ano → *Investir em (~) 28 contentores*

Orçamento disponível: 10.000€ → *Investir em (~) 50 contentores*

Como seleccionar quais os contentores que devem ter sensores? **DEBATE**



93

## Recomendações e Desafios

### • Solução Mista: Sensores + Registos Motoristas

- Registo dos motoristas têm alguma fiabilidade
- Incentivos aos motoristas
- Apenas considerar os registos do motorista que recolhe o material (evita “entropia” nos dados)
- Necessidade de modelo de previsão para se efetuar estimativas tanto com base nos dados dos motoristas como nos dados dos sensores (usar técnicas de machine learning para aprender com os dados)



94

## Recomendações e Desafios

- **Balanceamento das Rotas a atribuir aos Motoristas**

- Balancear em termos de quê?
- Zonas Urbanas vs. Zonas Rurais
- Dificuldade de condução em estradas montanhosas



95

## Recomendações e Desafios

# Questões?



96



**Muito Obrigada!**

Tânia Ramos, IST, [tania.p.ramos@tecnico.ulisboa.pt](mailto:tania.p.ramos@tecnico.ulisboa.pt)

M<sup>a</sup> João Conceição, ERSUC, [mjoao.conceicao@ersuc.pt](mailto:mjoao.conceicao@ersuc.pt)

Hélio Silva, EVOX, [helio.silva@evox.pt](mailto:helio.silva@evox.pt)

António Pais Antunes, Univ. de Coimbra, [antunes@dec.uc.pt](mailto:antunes@dec.uc.pt)

 WSMARTROUTE

97