

# Estacionamento seguro para bicicletas em meio urbano

Pedro Marcelo Pires Alcobia, João Pedro Barreto  
pedro.alcobia@ist.utl.pt, joao.barreto@tecnico.ulisboa.pt

Instituto Superior Técnico, INESC-ID

**Resumo** Hoje em dia é complicado estacionar a bicicleta na cidade sem nos preocuparmos com a sua segurança. As soluções para aumentar a segurança nos estacionamentos visam o uso de estruturas complexas de arrumo de bicicletas, aumentando assim o custo associado a estes estacionamentos. Em Portugal, os estacionamentos para bicicletas, em geral, são simples e fornecem pouca segurança.

Neste artigo propomos um sistema de guarda de bicicletas com vista a aumentar a segurança das mesmas quando estacionadas, com menor impacto nas infraestruturas existentes. Tal é conseguido através de um sistema informático de monitorização de bicicletas no estacionamento. Estes sistemas não são novidade no mercado [13], porém resumem-se a dois tipos: uns mais simples que usam um pequeno dispositivo (*beacon*) que permite comunicação a curta distância, através de ligações como por exemplo *Bluetooth* ou *RFID*, colocado na bicicleta para alertar outros dispositivos na sua vizinhança; outros mais complexos que permitem a monitorização constante do equipamento, recorrendo a tecnologias de comunicação a longa distância, como por exemplo *GSM*. No primeiro caso existe um problema na falta de disponibilidade do sistema pois é necessário haver um recetor de sinal na proximidade do dispositivo para o localizar. No segundo caso existe o problema do consumo elevado de bateria que é inerente às tecnologias de comunicação a longa distância. Como exemplo temos a aplicação *sherlock* que permite a constante monitorização da bicicleta em qualquer local, no entanto este necessita de mudança de pilha de duas em duas semanas [24].

Desenvolvemos o nosso sistema tendo como base uma solução que permita o baixo custo energético associado ao primeiro tipo de sistemas, no entanto com uma elevada disponibilidade na monitorização de bicicletas, somente onde esta seja necessária. Tal só é possível dada a noção de locais críticos, onde normalmente as bicicletas estão mais desprotegidas. Por exemplo os estacionamentos de bicicletas. Como tal a nossa abordagem envolve a instalação de um pequeno dispositivo recetor no local crítico. Este irá monitorizar as bicicletas na sua vizinhança, permitindo assim uma elevada disponibilidade do sistema no local onde se encontra. Para ser localizada a bicicleta será equipada com um pequeno *beacon* que comunica com o dispositivo recetor através de tecnologias de comunicação de curto alcance, mantendo assim um baixo custo energético associado a este dispositivo. Em caso de roubo a nossa solução notifica imediatamente o dono e potenciais utilizadores considerados de confiança no local. Estes podem ser por exemplo seguranças nos edifícios

perto do local do roubo. Esta abordagem permite uma resposta mais rápida na eventualidade de uma bicicleta estar a ser roubada. No desenvolvimento desta solução são levantadas algumas questões relevantes ao nível do consumo energético do *beacon* que irá identificar a bicicleta, ou seja de quanto em quanto tempo terá de ser trocada a pilha deste dispositivo. Outro fator a ter em conta será a segurança/privacidade do utilizador ao usar o nosso sistema. A solução proposta neste artigo foca-se nos aspetos da privacidade do utilizador e da disponibilidade do sistema em si, permitindo ao utilizador monitorizar a sua bicicleta quando estacionada.

**Keywords:** Segurança no estacionamento, bicicletas, Bluetooth, sistemas de localização em tempo real, estacionamento inteligente.

## 1 Introdução

A bicicleta como meio de transporte é amiga do ambiente, compacta, ágil, fácil de usar, de barata manutenção e saudável [18]. Estas características, aliadas à redução de emissões de CO<sub>2</sub>, à descongestão de tráfego e à fácil arrumação do próprio veículo, quando comparado com veículos motorizados, tornam este meio de transporte ideal em meios urbanos. Encontrar um espaço seguro onde estacionar a bicicleta é uma tarefa difícil [3], o que leva à falta de adesão a este meio de transporte.

Existem muitos tipos de estacionamentos para bicicletas, vigiados por seguranças [3], vários tipos de bicicletários [2] e até podem ser usadas as infraestruturas da própria cidade para prender a bicicleta, como por exemplo corrimões ou postes.

Estas soluções são, no entanto, insuficientes. Os estacionamentos vigiados ou vedados fornecem bastante segurança; no entanto, por causa do custo da infraestrutura envolvida, é impossível tê-los espalhados pela cidade. Tendo em conta a facilidade com que se consegue desmontar uma bicicleta [1], qualquer ladrão com tempo ou ferramentas suficientes consegue roubá-la [9]. Por isso, os bicicletários e o estacionamento usando as infraestruturas da cidade, apesar de estarem presentes em toda a cidade, não oferecem segurança em todas as circunstâncias aos ciclistas. Durante a noite este problema agrava-se pela falta de pessoas que passam ao pé do local onde a bicicleta se encontra estacionada, dando assim mais tempo ao ladrão para roubar a bicicleta sem ser notado.

O problema da localização de objetos perdidos tem recebido alguma atenção pela comunidade das tecnologias da informação. Como tal, já existem algumas soluções que respondem ao problema do estacionamento seguro de bicicletas, tirando partido das novas tecnologias móveis para permitir a um utilizador monitorizar ou localizar a sua bicicleta em tempo real. No entanto, estas soluções têm limitações: as que permitem uma localização constante gastam muita bateria, necessitando assim de uma fonte de energia contínua, o que em bicicletas é difícil conseguir; as soluções que tiram partido dos meios dos utilizadores, como por exemplo telemóveis, para encontrar os objetos perto de si, não garantem que o objeto seja sempre encontrado.

Neste artigo propomos uma abordagem intermédia que consegue garantir a deteção de bicicletas no bicicletário com reduzido custo energético. Tal é conseguido através dum dispositivo que será colocado no bicicletário com a função de monitorizar a entrada e saída de bicicletas nesse espaço. Este dispositivo, denominado monitor, será o ponto de comunicação entre o dispositivo identificador da bicicleta e o dono da mesma, informando sempre que a bicicleta entre ou saia de um local de estacionamento. Como o monitor se encontra sempre presente no local onde a bicicleta é estacionada, qualquer entrada ou saída da bicicleta será reportada ao dono da mesma, garantindo assim disponibilidade do serviço nos locais mais necessários.

Este monitor poderá ser colocado não só em bicicletários mas também em lojas como cafés ou pastelarias, ou mesmo serviços públicos como polícia ou bombeiros, levando assim o estacionamento seguro de bicicletas a qualquer parte da cidade. Esta rede de locais seguros onde estacionar a bicicleta na cidade irá facilitar também o encontro de bicicletas roubadas.

O monitor tira partido do alcance das comunicações Bluetooth para determinar a presença da bicicleta no estacionamento. Esta abordagem permite simplificar as mensagens enviadas pelo dispositivo na bicicleta, usando o nome do dispositivo Bluetooth associado para transmitir informação ao monitor.

O resto do documento está organizado da seguinte forma. Na secção 2 iremos entrar em mais detalhe sobre as soluções atuais para o problema. Na secção 3 será apresentada a nossa solução, desde o modo de funcionamento como os aspetos de segurança e integridade implementados. Na secção 4 serão apresentados os detalhes da nossa solução, como por exemplo quais as tecnologias usadas, ambientes de desenvolvimento e escolhas de implementação para os vários componentes da nossa solução. Na secção 5 iremos apresentar os resultados a alguns testes realizados sobre o gasto energético e o tempo de vida do beacon e também outros testes sobre a velocidade do sistema a notificar utilizadores sobre roubos de bicicletas.

## 2 Estado Da Arte

Muito trabalho tem sido desenvolvido na área da localização de objetos e utilizadores, seja na localização de objetos perdidos [6, 10, 11], partilha de trajetos diários com amigos [15], ou até usado na monitorização de animais, cadeias de produção e controlo de stock [19]. Certos trabalhos [6, 10, 11] tentam aproveitar os dispositivos móveis dos utilizadores por forma a criar redes de procura de objetos perdidos, alertando sempre que um objeto perdido for encontrado perto de qualquer utilizador. Outros propõem soluções mais robustas usando recetores GPS para localizar o objeto e tecnologias de comunicação a longa distância como GSM para manter uma comunicação permanente entre objeto e dono.

Na literatura, existem três principais tipos de soluções para localizar e monitorizar objetos:

- Globais, que garantem o encontro do objeto em qualquer lado.

- Locais, que garantem o encontro do objeto em certos locais.
  - Com infraestrutura própria para localização de objetos.
  - Sem infraestrutura própria para localização de objetos.

De seguida abordamos cada um dos três tipos de solução em mais detalhe.

## 2.1 Soluções Globais

As soluções globais permitem uma localização e monitorizar constantemente os objetos em qualquer local. Estas soluções em geral baseiam-se no uso de tecnologia GPS para localizar os objetos e GSM para comunicação à distância. Estas tecnologias consomem bastante energia, necessitando uma fonte de energia contínua [15, 21], o que nalguns casos provoca insatisfação por parte dos utilizadores que vêm a bateria das suas bicicletas eléctricas a esgotar-se rapidamente [15]. Tal pode ser evidenciado num estudo realizado, onde 34% dos utilizadores queixaram-se de problemas com a bateria [15], como por exemplo, metade da bateria descarregar completamente durante a noite ou que a bateria ficava esgotada muito rapidamente. Também é apresentada nesta secção uma solução que pretende minimizar o impacto na bateria que esses módulos têm. Tal é conseguido dado a presença de outros sensores, giroscópios e acelerómetros, que ditam quando os outros módulos devem entrar em funcionamento [16].

## 2.2 Soluções Locais com infraestrutura própria

Estas soluções fazem uso de tecnologias como Bluetooth, WiFi e ultra-som ou combinações destas em infraestruturas próprias, com o objetivo de localizar objetos no local onde esta infraestrutura for instalada. As soluções que usam sinais sonoros para localizar os objetos conseguem uma localização muito precisa [22]. Tal deve-se ao conhecido valor da velocidade do som ser baixo, permitindo assim um cálculo mais exato da distância ao objeto, tendo como conhecido o tempo que o sinal demora entre ambos os dispositivos. Outras soluções usam a força de sinal da ligação para medir a distância entre dispositivos [5, 12, 17, 23]. Uma delas [12] combina o uso de pontos de acesso WiFi para encontrar utilizadores dentro do escritório e *beacons Bluetooth Low Energy* (BLE), espalhados pelas divisões do escritório, com o intuito de aumentar a precisão na localização de cada utilizador nas divisões desse escritório. Nesta solução é necessária uma grande constelação de dispositivos Bluetooth e pontos de acesso WiFi para conseguir uma localização com elevada precisão. Estes sistemas contemplam um erro de até 2 metros entre a força de sinal obtida e a distância ao dispositivo [5]. Noutra solução são usados os nomes dos dispositivos Bluetooth [17] para localizar os utilizadores. Esta estratégia permite uma descoberta de utilizadores e das suas localizações sem haver uma ligação Bluetooth estabelecida. Esta troca de informação é feita através dos nomes dos dispositivos Bluetooth. A maior parte destas soluções compreendem a localização de utilizadores, usando para tal os seus telemóveis como dispositivo de identificação. Como tal, poucas soluções requerem pesquisa ou análise sobre os dispositivos usados na localização de objetos [12].

### 2.3 Soluções Locais sem infraestrutura própria

Em geral, as soluções locais que não requerem infraestruturas adicionais [6,10,11, 20] baseiam-se no uso das tecnologias, Bluetooth ou WiFi, presentes nos dispositivos do nosso dia-a-dia, como por exemplo telemóveis. Este permite localizar os próprios utilizadores destes dispositivos ou usar os mesmos para localizar objetos à sua volta. Uma solução, tentam globalizar o encontro de objetos equipados com Bluetooth [6,10,11], ligando todos os utilizadores da mesma aplicação com o intuito de permitir que os objetos perdidos possam ser encontrados quando qualquer utilizador passe perto dos mesmos. Outra solução [20], faz uso das tecnologias de radiofrequência e *Acoustic Ranging* para localizar qualquer dispositivo perto de si. Esta solução foi pensada para ser usada num escritório, onde muitos destes dispositivos se encontram, facilitando o acesso a cada um deles por parte dos utilizadores.

## 3 Solução proposta

### 3.1 Arquitetura da solução

A solução apresentada nesta secção tem em conta as observações feitas na secção 2.

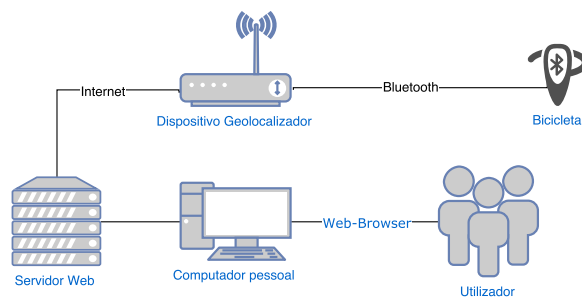
A nossa solução pretende dar resposta aos problemas de falta de segurança nos estacionamento para bicicletas. Como tal, propomos um sistema com infraestrutura própria a ser instalada no local, tal como as soluções apresentadas na secção 2.2. Esta solução envolve colocar um pequeno e barato dispositivo Bluetooth na bicicleta. Este pequeno dispositivo que, por ter um baixo consumo energético, não perturbará o uso diário deste meio de transporte, será usado para identificar a própria bicicleta. Estimamos que uma pilha dure perto de 3 meses neste dispositivo.

Dispositivos fixos, que serão colocados em vários locais da cidade, como por exemplo cafés, lojas e bicicletários, irão monitorizar os pequenos dispositivos presentes nas bicicletas. Estes dispositivos fixos, também equipados com tecnologia Bluetooth, têm como objetivo monitorizar a entrada e saída de bicicletas na sua área abrangente. A entrada e saída de novas bicicletas é detetada quando uma bicicleta equipada com um dispositivo móvel se aproxima de um dos dispositivos fixos espalhados pela cidade, criando uma ligação Bluetooth entre ambos que permite informar o dispositivo fixo da presença da bicicleta na sua área. Os dispositivos fixos enviam informação sobre a entrada e saída de bicicletas do seu local abrangente para um servidor central. Este servidor central será responsável por notificar o dono quando a bicicleta for roubada. As notificações serão enviadas não só para o dono, mas também para outros utilizadores considerados seguros, caso existam para esse dado local. Os utilizadores seguros, considerados de confiança, podem ser associados ao local como salvaguarda extra do local, servindo assim de seguranças não oficiais caso haja uma tentativa de roubo. Esta ideia tem como objetivo deixar os ciclistas mais descansados quando estacionam a sua bicicleta num local com utilizadores seguros, pois sabem que alguém estará

por perto para ajudar em caso de tentativa de roubo. Tal como quando se pede a um amigo/conhecido para vigiar a nossa bicicleta enquanto estacionada. Na nossa solução existem três cenários possíveis identificados pelo nosso sistema: o utilizador estaciona a sua bicicleta num local abrangido pelo nosso sistema; o utilizador sai do estacionamento com a sua bicicleta; a bicicleta sai do estacionamento indevidamente (é roubada). Estes três cenários são identificados pelo servidor central através da informação recebida pelos dispositivos fixos. Em caso de roubo da bicicleta, o servidor central notifica o dono e outros potenciais utilizadores interessados, através da aplicação disponível, o roubo da mesma. A nossa solução compreende quatro componentes essenciais:

- *Beacon* que comunica a informação da bicicleta
- Dispositivo Geolocalizador envolvido na procura de bicicletas dentro da sua área.
- Servidor Web que processa a informação dos roubos
- Interface com o utilizador

Um Diagrama com o sistema proposto encontra-se apresentado na Figura 1, na qual podemos ver as tecnologias escolhidas na comunicação entre os vários módulos.



**Figura 1.** Diagrama do sistema proposto

**Componentes da solução.** Decidimos usar a tecnologia Bluetooth para nos apoiar na descoberta de bicicletas. Esta escolha tem a vantagem do baixo custo energético inerente a esta tecnologia [8, 14]. Outra característica que nos pode ser útil é a descoberta automática de dispositivos à sua volta. Tendo esta característica em conta podemos usar o nome do dispositivo para comunicar a informação necessária [17], que no nosso caso será a identificação da bicicleta no nosso sistema e o seu estado. O estado da bicicleta será qualquer outra informação no *beacon* da bicicleta que nos possa ajudar a identificar um roubo. Na nossa solução usamos um sensor de movimento para detetar movimento da bicicleta que possa identificar uma tentativa de roubo.

Como base para o dispositivo de descoberta das bicicletas foi escolhido um dispositivo fixo. Esta abordagem, dada a presença constante do dispositivo no local, permite a disponibilidade do sistema mesmo durante a noite. O que poderia não ser possível caso fosse usada uma solução móvel para este dispositivo. Esta solução necessita o fornecimento de uma ligação à *Internet* para comunicar com um servidor central.

**Casos de Uso.** Nesta secção apresentamos os dois casos com mais impacto para o nosso sistema, a entrada e saída de bicicletas do estacionamento.

*Bicicleta entra no estacionamento.* No caso de uma bicicleta entrar num local de estacionamento, o sistema procede da seguinte maneira:

- O dispositivo fixo de pesquisa faz a descoberta dos dispositivos à sua volta.
- Ao descobrir uma nova bicicleta envia essa informação para o Servidor Web.
- Caso essa entrada seja de uma bicicleta roubada, então o utilizador será notificado da nova localização da bicicleta.
- O servidor Web guarda a informação destas chegadas, caso seja necessário enviar para a polícia mais tarde.

Este envio de mensagens possibilita o controlo e potencial gestão das bicicletas no estacionamento, levando ao encontro de bicicletas roubadas, melhor gestão de lugares disponíveis e maior segurança.

*Bicicleta sai do estacionamento.* No caso de saída da bicicleta, o dispositivo fixo só precisa de detetar que um dispositivo que encontrou, na última descoberta de dispositivos na rede Bluetooth, já não se encontra disponível. Quando tal acontecer procede da seguinte maneira:

- O dispositivo fixo de pesquisa envia a informação do dispositivo que não foi encontrado para o servidor Web.
- O servidor Web regista a altura da ocorrência e, caso seja determinado um roubo, envia uma notificação ao utilizador com esta informação.

Para ser detetado um roubo, é necessário conseguir distinguir quem está a sair do estacionamento com a bicicleta, se é o dono ou outra pessoa. Neste momento temos uma solução que envolve ação do utilizador, levando-o a indicar na aplicação sempre que pretender sair com a bicicleta do estacionamento e a que horas o pretende fazer. Caso o utilizador esteja ao pé da bicicleta e queira sair com esta também terá a opção de destrancar a mesma na interface disponível. Estas soluções permitem ao utilizador definir se e quando vai sair com a bicicleta, no entanto requer uma participação ativa por parte do mesmo. Outra solução envolve perceber se, quando a bicicleta saiu do estacionamento, o utilizador estava presente no local. Tal será possível se o utilizador tiver um telemóvel com ligação Bluetooth e o identificador Bluetooth do telemóvel for associado também à bicicleta. Esta solução permite ao utilizador não se preocupar sobre quando irá sair

com a bicicleta do estacionamento, no entanto, estes identificadores poderiam ser copiados o que tornaria nula a segurança do sistema.

Como podem haver alguns problemas na retirada de bicicletas do parque de estacionamento, por exemplo não avisar a aplicação que a bicicleta irá sair do estacionamento, iremos dar ao utilizador sempre a palavra final. Ou seja, em caso de roubo, ao ser notificado, o utilizador pode sempre descartar estas notificações de roubo e dizer que foi um mero erro.

**Segurança.** Com esta grande quantidade de dispositivos móveis e ligações pouco seguras, existem certos aspetos de segurança e privacidade que têm de ser tidos em conta. O principal problema prende-se com a natureza das ligações sem fios, nas quais baseamos a comunicação entre os dispositivos, em particular a ligação Bluetooth entre o dispositivo fixo e o *beacon* presente na bicicleta. Qualquer uma das mensagens enviadas nestas ligações está vulnerável a ataques de repetição de mensagens ou escuta na rede.

Entre o *beacon* presente na bicicleta e o dispositivo fixo de pesquisa, é apenas trocada a mensagem de presença da bicicleta através do nome do dispositivo Bluetooth na rede. Dada a grande quantidade de dispositivos que permitem comunicação através da tecnologia Bluetooth, esta informação pode ser vista por qualquer outro utilizador causando assim problemas ao nível da privacidade dos utilizadores. Com o intuito de resolver este problema de privacidade, o conteúdo irá cifrado com um *nonce*, valor aleatório que será enviado dentro da mensagem cifrada, para não permitir a identificação da presença regular de um dispositivo na área.

Outro aspeto importante sobre a segurança é o local onde fica o dispositivo identificador na bicicleta. Se este não estiver bem preso à bicicleta, pode ser removido e assim eliminando a segurança do sistema. Como tal existe um mecanismo que deteta se este dispositivo foi removido da bicicleta ou não, interrompendo a comunicação deste dispositivo caso tal aconteça. Ao deixar de comunicar este é dado roubado. O último aspeto de segurança a mencionar prende-se com a deteção de um roubo ainda antes da bicicleta sair do bicicletário. Para roubar uma bicicleta presa num bicicletário um ladrão tem de quebrar o cadeado, o que envolve normalmente mexer bastante na bicicleta. Para conseguir detetar este tipo de comportamento, o *beacon* terá um sensor de movimento. A informação sobre a movimentação da bicicleta será enviada por Bluetooth para o dispositivo localizador que por sua vez irá inferir se a bicicleta está a ser roubada ou não.

**Interface.** A interface vai permitir a comunicação entre o sistema e o utilizador. Esta comunicação, tal como explicada nas secções anteriores, será feita tendo em conta os dispositivos do próprio utilizador e só requer que o dispositivo que corre a interface esteja equipado com uma ligação à Internet. Este site interage com a api do *Google Maps* para fornecer uma representação visual dos locais de estacionamento e das bicicletas.

O utilizador poderá fazer as seguintes operações:

- adicionar ou remover os seus dispositivos (bicicletas).



- adicionar ou remover locais.
- procurar locais.
- localizar as suas bicicletas.
- ver alertas.

## 4 Implementação

Nesta secção iremos entrar em mais detalhe na implementação do protótipo, explicando como foi desenvolvido cada componente referido na secção 3.1.

### 4.1 *Beacon.*

Para desenvolver o dispositivo móvel(*Beacon*) presente nas bicicletas, com intuito de as identificar, escolhemos o *CC1350 SimpleLink da Texas Instruments*, pois permite uma solução com o menor custo energético, ligação Bluetooth e módulo de cifra AES incorporados.

Foi usado o *Launchpad* como ambiente de desenvolvimento para o micro-controlador *CC1350* e o Code composer Studio para desenvolver o código. Partimos de uma solução presente nos exemplos deste ambiente de desenvolvimento para comunicação *Bluetooth*. Nesta solução é enviado um sinal de descoberta a cada 160ms. A esta solução foi adicionada a funcionalidade de cifra do nome Bluetooth do dispositivo. Nesta solução usamos uma cifra AES em modo CBC. Esta permite, recorrendo ao uso de *nonce* no início do texto a cifrar, mascarar melhor a informação enviada pelo *beacon*.

### 4.2 Dispositivo Localizador fixo.

Para dispositivo fixo de descoberta de bicicletas numa certa área, escolhemos o *raspberry pi model 3 B*. Este foi escolhido pela sua versatilidade, pois permite um nível adequado de computação, fácil comunicação entre os vários componentes da solução e uma presença constante no estacionamento.

Para detetar os dispositivos *bluetooth* à sua volta foi instalada a biblioteca *Bluez* [7]. Esta biblioteca permite acesso ao modulo *bluetooth* do dispositivo, permitindo a deteção de outros dispositivos à sua volta. O código para detetar dispositivos foi desenvolvido em *python*, dada a facilidade de programação deste tipo de funcionalidades. O serviço a correr neste dispositivo que comunica com o servidor foi programado em Java e comunica com o servidor web através de sockets. Este componente procura dispositivos á sua volta a cada 10 segundos. A informação recebida por estes dispositivos é enviada para o servidor web, caso envolva a entrada ou saída de uma bicicleta.

### 4.3 Servidor Web.

O servidor web recebe pedidos através de uma interface usando sockets em Java. Este módulo processa a informação enviada por cada localização e tenta perceber se um roubo está a acontecer ou não. Tal é perceptível caso o dispositivo

localizador tenha enviado uma mensagem de saída de bicicleta e não seja detetada nenhuma intenção de saída por parte do utilizador. Outro caso importante é detetar, através da informação enviada pelo dispositivo localizador fixo, movimento que possa indicar um potencial roubo. Uma bicicleta quando estacionada encontra-se parada no local, ou seja sem movimento. Ao receber a informação de movimento numa bicicleta estacionada o nosso sistema lança um alerta de potencial intenção de roubo da bicicleta. O servidor espera por três sinais consecutivos de movimento ilícito da bicicleta no estacionamento para enviar o alerta, permitindo que pequenos movimentos na bicicleta sejam ignorados. Esta informação é passada para a interface através de uma base de dados em SQL.

#### 4.4 Interface.

Para interface com o utilizador escolhemos desenvolver um *Web-site*. Este apresenta um ambiente muito permissivo e, apesar de não ter acesso a todos os periféricos do dispositivo por razões de segurança, pode ser executado em qualquer *browser* desde que haja ligação à Internet. Este ambiente não tem uma funcionalidade de notificações predefinida, no entanto é possível realizar essa funcionalidade, tal como demonstrado em [4].

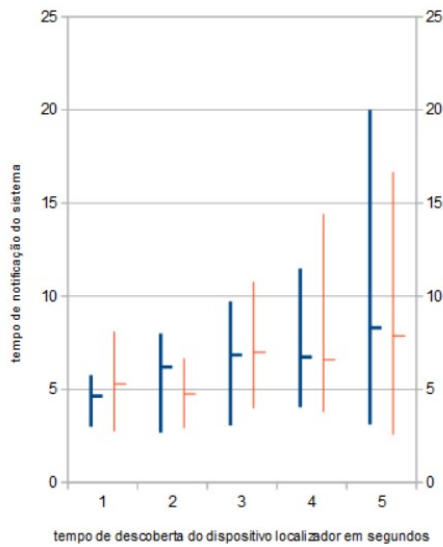
Esta interface foi desenvolvida em JSP. O nosso sistema suporta notificações *Push*, nestas o servidor envia para o *browser* uma notificação sempre que uma bicicleta for roubada. Estas foram escolhidas em pois, comparativamente às notificações *Pull*, não requerem um pedido explícito do utilizador para receber notificações. Esta simplificação permite reduzir o tráfego na rede e o número de pedidos ao servidor. Para implementar esta funcionalidade usamos a noção de *server-sent events*, uma funcionalidade presente no HTML5. A informação sobre as notificações é retirada de uma base de dados SQL com a qual o servidor web comunica. Enviado a informação necessária para o cliente.

Como alguma da informação do nosso sistema pode ser identificada com coordenadas GPS decidimos usar a API do *Google Maps* para nos ajudar nesta representação dos locais de estacionamento e nos locais onde se encontram as bicicletas do utilizador. Esta informação ficará visível num mapa mundo, permitindo um fácil encontro dos locais protegidos.

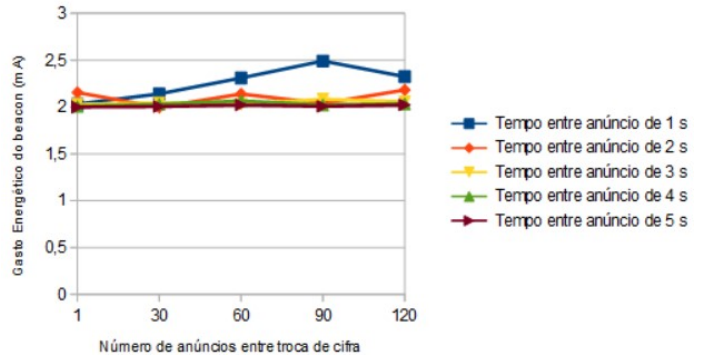
## 5 Avaliação

Nesta secção iremos avaliar o protótipo implementado em relação ao tempo que demora um utilizador a receber uma notificação de roubo e o gasto energético associado ao *beacon* presente na bicicleta.

Na figura 2 podemos ver os resultados obtidos para ao testar o tempo que leva o sistema a detetar a ausência da bicicleta, alterando o tempo entre anúncios consecutivos no beacon e o tempo entre novas procuras de dispositivos feito pelo dispositivo localizador. Na figura 3 podemos ver as médias da energia em mA gasta no beacon para os diferentes tempos de anúncio no beacon. Na tabela 1 apresentamos a tradução entre gasto energético no beacon e o tempo de vida do



**Figura 2.** Resultado do primeiro teste



**Figura 3.** Resultado do teste sobre o gasto energético nos vários modos

**Tabela 1.** Tabela com a tradução entre gasto energético para tempo de vida do beacon

Capacidade das duas pilhas (mAh)	Gasto energético do beacon (mA)	Tempo de vida do beacon (meses)
3600	2.5	2
	2	2.5
5200	2.5	2.889
	2	3.611

mesmo para os valores de 2mA e 2.5mA, tendo como base o uso de duas pilhas alcalinas AA para alimentar o beacon.

Através da análise dos resultados obtidos anteriormente definimos o tempo de anúncio do beacon para 2 segundos pois apresenta um tempo médio bastante baixo em 2, quando usando também dois segundos para tempo entre descoberta de novos dispositivos no dispositivo localizador, e um baixo gasto energético visível em 3. Esta configuração permite um gasto energético de 2mA e como tal, um tempo de vida de dispositivo entre 2.5 e 3.611 meses, tal como pode ser visto na tabela 1.

## 6 Conclusão e trabalho futuro

Neste documento foi apresentada uma solução com vista a aumentar o nível de segurança dos estacionamento para bicicletas, esta solução tem em conta várias soluções propostas para localização de objetos.

Também fizemos distinção e comparação entre uma descoberta local ou global dessas bicicletas. Nesta solução escolhemos como base a descoberta local de bicicletas, colocando o foco na rapidez e robustez do sistema em locais predefinidos. Nesta solução apresentámos uma noção de envolver mais a comunidade na prevenção de roubo de bicicletas na cidade, permitindo que vários utilizadores, considerados seguros, possam receber notificações de roubo de bicicleta nos locais onde costumam frequentar. Apresentámos também uma ideia falada por outros autores [15] que visa usar o nome do dispositivo Bluetooth para troca de informação entre dois dispositivos e dos problemas de segurança associados. Este aplica-se à nossa solução pois permite menor consumo de energia, aumentando o tempo de vida do dispositivo e facilitando a troca de mensagens. No entanto esta solução coloca alguns problemas ao nível de segurança que são falados na secção 3.1. Nessa secção são apresentadas algumas ideias para melhorar a segurança do sistema, entre as quais o uso de chaves criptográficas para preservar a segurança da ligação.

Em termos da interface com o utilizador, tivemos em conta só as que pudessem estar sempre disponíveis. Exemplos destas interfaces seriam as disponíveis em dispositivos móveis ou *Web-sites*. Decidimos escolher os *Web-sites*, pois fornecem a funcionalidade desejada e também porque os dispositivos móveis requerem programação em vários ambientes como *IOS*, *Android* e *Windows Phone*.

De futuro, seria interessante arranjar um mecanismo de sincronização entre o beacon e o dispositivo localizador com o intuito de minimizar o tempo de notificação de utilizador, dado que tal é importante em sistemas reativos como este. Outro aspeto interessante a ser melhorado seria o uso de dispositivos do utilizador, como por exemplo *smartphone*, para descobrir se o mesmo está a sair do estacionamento com a bicicleta ou não, o que facilitaria a descoberta de falsos positivos na notificação de roubos de bicicletas. Para realizar tal conceito seria necessário, não só perceber que ambos, o utilizador e a bicicleta, se encontram no mesmo local, mas também que ambos se encontram a sair desse local na mesma direção. Tal poderia ser feito usando a força de sinal de ambos os dispositivos para os identificar, no entanto este emparelhamento de utilizador com a sua bicicleta pode ser complicado em locais onde existam várias pessoas ou objetos a passar, já que tal influencia a força de sinal obtida. Outra ideia interessante seria a expansão do dispositivo localizador para conter mais funcionalidades, como por exemplo uma câmara de vídeo que se liga em caso de roubo identificando as pessoas envolvidas.

## 7 Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pelo projeto TRACE (co-financiado pela Comissão Europeia através do contrato nº635266) e por fundos nacionais através da Fundação para a ciência e Tecnologia (FCT) com referência UID/CEC/50021/2013.

## Referências

1. Como desmontar uma bicicleta de trilha (tal como acessado a 6/1/2017). <http://pt.wikihow.com/Desmontar-Uma-Bicicleta-de-Trilha>.
2. Guia para construção de bicicletários adequados (tal como acessado a 6/1/2017). <http://www.acbc.com.br/mobilidade/guia-bicicletario/>.
3. Parking your bicycle in amsterdam (tal como acessado a 6/1/2017). <http://www.holland-cycling.com/amsterdam/getting-around-amsterdam/parking-your-bicycle-amsterdam>.
4. Web site notification solution (tal como acessado a 6/1/2017). <http://stackoverflow.com/questions/16860106/real-time-notification-from-web-server-to-client-browsers>.
5. *BluEyes - Bluetooth Localization and Tracking*, 2008.
6. *GPS and Bluetooth Based Object TRacking System*, volume 5. IJARCCCE, January 2016.
7. Bluez. Official linux bluetooth protocol stack(tal como acessado a 27/6/2017). <http://www.bluez.org/>.
8. Aaron Carroll and Gernot Heiser. An analysis of power consumption in a smartphone. In *Proceedings of the 2010 USENIX Conference on USENIX Annual Technical Conference*, USENIXATC'10, pages 21–21, Berkeley, CA, USA, 2010. USENIX Association.
9. Holland Cycling (Tal como acessado a 6/1/2017). Bicycle theft - how to avoid the pitfalls? <http://www.holland-cycling.com/tips-and-info/safety/bicycle-theft>.
10. The Tile App (Tal como acessado a 6/1/2017). <https://www.thetileapp.com/en-gb/>.
11. Trackr (Tal como acessado a 6/1/2017). <https://www.thetrackr.com/>.
12. Matthew Cooper, Jacob Biehl, Gerry Filby, and Sven Kratz. Loco: Boosting for indoor location classification combining wi-fi and ble. *Personal Ubiquitous Comput.*, 20(1):83–96, feb 2016.
13. We Love Cycling. Three electronic devices to help you track down a stolen bike (tal como acessado a 26/6/2017). <https://www.welovecycling.com/wide/2017/03/13/three-electronic-devices-help-track-stolen-bike/>.
14. E. Ferro and F. Potorti. Bluetooth and wi-fi wireless protocols: a survey and a comparison. *IEEE Wireless Communications*, 12(1):12–26, Feb 2005.
15. Kristina Flüchter and Felix Wortmann. Implementing the connected e-bike: Challenges and requirements of an iot application for urban transportation. In *Proceedings of the First International Conference on IoT in Urban Space*, URB-IOT '14, pages 7–12, ICST, Brussels, Belgium, Belgium, 2014. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
16. Santanu Guha, Kurt Plarre, Daniel Lissner, Somnath Mitra, Bhagavathy Krishna, Prabal Dutta, and Santosh Kumar. Autowitness: Locating and tracking stolen property while tolerating gps and radio outages. *ACM Trans. Sen. Netw.*, 8(4):31:1–31:28, September 2012.
17. Troy A. Johnson and Patrick Seeling. Localization using bluetooth device names. In *Proceedings of the Thirteenth ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, MobiHoc '12, pages 247–248, New York, NY, USA, 2012. ACM.
18. Sapó Lifestyle. Todos os benefícios de andar de bicicleta (tal como acessado a 6/1/2017). <http://lifestyle.sapo.pt/saude/peso-e-nutricao/artigos/todos-os-beneficios-de-andar-de-bicicleta>.

19. Brahmanandha Prabhu R M Ayoub Khan, Manoj Sharma. A survey of rfid tags. [https://www.researchgate.net/publication/239753306\\_A\\_survey\\_of\\_RFID\\_tags](https://www.researchgate.net/publication/239753306_A_survey_of_RFID_tags), January 2009.
20. Rajalakshmi Nandakumar, Krishna Kant Chintalapudi, and Venkata N. Padmanabhan. Centaur: Locating devices in an office environment. In *Proceedings of the 18th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, Mobicom '12, pages 281–292, New York, NY, USA, 2012. ACM.
21. Johannes Paefgen and Florian Michahelles. Inferring usage characteristics of electric bicycles from position information. In *Proceedings of the 3rd International Workshop on Location and the Web*, LocWeb '10, pages 5:1–5:4, New York, NY, USA, 2010. ACM.
22. Nissanka B. Priyantha, Anit Chakraborty, and Hari Balakrishnan. The cricket location-support system. In *Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, MobiCom '00, pages 32–43, New York, NY, USA, 2000. ACM.
23. Iván Santos-González, Pino Caballero-Gil, Alexandra Rivero-García, and Candelaria Hernández-Goya. Poster: Indoor location system for vehicles. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Experiences with the Design and Implementation of Smart Objects*, SmartObjects '15, pages 27–28, New York, NY, USA, 2015. ACM.
24. sherlock app. Device and app (tal como acedido a 26/6/2017). <https://www.sherlock.bike/en/device-app/>.