



Projeto em Engenharia Informática

Relatório Técnico



DETI, Universidade de Aveiro

Bruno Castro, Gabriel Malta, Guilherme Sousa, Hugo Moinheiro, Rafael Oliveira

Doutor João Almeida, Professor Paulo Bartolomeu

06 de Julho de 2021



Pagamento automático de portagens baseado em tecnologia Blockchain

Relatório Técnico do Projeto em Engenharia Informática do Mestrado Integrado em Engenharia de Computadores e Telemática da Universidade de Aveiro.

Autoria de Bruno Castro (80190), Gabriel Malta (80131), Guilherme Sousa (80000), Hugo Moinheiro (84931) e Rafael Oliveira (84758), sob a orientação do Doutor João Almeida e do Professor Paulo Bartolomeu.

Resumo

O projeto integra-se no âmbito do PASMO (Plataforma Aberta para o desenvolvimento e experimentação de Soluções para a Mobilidade) com o objetivo de facilitar o processo de pagamento de portagens, de uma maneira segura e eficiente, através de tecnologias baseadas em blockchain e de modo a responder aos avanços recentes nas tecnologias sem fios e criptográficas nas aplicações veiculares. A chegada da quinta geração de comunicações celulares (5G) também potencia um conjunto alargado de melhorias na conectividade com padrões de ligação heterogéneos. Para além disso, o surgimento de criptomoedas serão determinantes para o futuro das transações digitais entre pessoas, organizações e “coisas”.

Para este efeito, foi implementado o back-end e front-end de uma aplicação móvel que seja de fácil uso por parte dos clientes para efetuar os pagamentos das portagens através da criptomoeda IOTA que foi especialmente desenhada para ser integrada na área da Internet of Things (IoT).

Juntamente com a aplicação móvel, foi também implementada uma interface Web que permite aos administradores do sistema verificar os pagamentos pendentes/efetuados em cada um dos equipamentos da estrada ou Road Side Units (RSU).

Estas soluções contêm vários módulos a comunicar entre si e que integram um sistema de maior complexidade já existente mas que não será explorado detalhadamente neste relatório, sendo que o foco são as aplicações Web e móvel criadas.

Tabela de Conteúdos

Acrónimos	7
Introdução	8
Trabalhos Relacionados	9
Modelo conceptual	10
3.1 Atores	10
3.2 Casos de Uso	11
3.3 Aplicação Móvel	12
3.4 Aplicação Web	13
Requisitos funcionais e não funcionais	15
4.1 Requisitos funcionais	15
4.2 Requisitos não-funcionais	15
Pressupostos e dependências	16
Procedimento	17
6.1 Arquitetura do sistema	17
6.2 A Aplicação Móvel	18
6.3 O Servidor Web	21
Resultados e discussão	24
Conclusão	26
Referências	27
Ligações Adicionais	28

Índice de Figuras

Acrónimos

Introdução

Trabalhos Relacionados

Modelo conceptual

Figura 1: Atores do Sistema	11
Figura 2: Caso de Uso da Aplicação Móvel	12
Figura 3: Caso de Uso da Aplicação Web	13

Requisitos funcionais e não funcionais

Pressupostos e dependências

Procedimento

Figura 4: Arquitetura do sistema e ferramentas usadas	17
Figura 5: Sequência de aquisição dos dados de uma transação	19
Figura 6: Página Principal Mobile	20
Figura 7: Carteira Digital	20
Figura 8: Transações Pendentes	20
Figura 9: Detalhes da Conta	20
Figura 10: Aplicação Web	22
Figura 11: Sequência de aquisição dos dados das RSUs a Transações	23

Resultados e discussão

Conclusão

Referências

Ligações Adicionais

Índice de Tabelas

Acrónimos

Introdução

Trabalhos Relacionados

Modelo conceptual

Requisitos funcionais e não funcionais

Pressupostos e dependências

Procedimento

Tabela 1: Resumo dos plugins utilizados na aplicação móvel 19

Tabela 2: Resumo dos plugins utilizados na aplicação Web 23

Resultados e discussão

Conclusão

Referências

Ligações Adicionais

Acrónimos

PASMO - Plataforma Aberta para o desenvolvimento e experimentação de Soluções para a Mobilidade - Referência ao programa em que se insere o projeto;

DLT - Distributed Ledger Technology - Referência ao tipo de transação em que se baseia o projeto;

RSU - Road Side Unit - Referência ao dispositivo de beira de estrada utilizado para o desenvolvimento do projeto;

MQTT - Message Queuing Telemetry Transport - Referência ao protocolo de mensagens utilizado na comunicação com o Broker;

IT - Instituto de Telecomunicações - Referência ao instituto situado na Universidade de Aveiro onde este projeto está a ser desenvolvido.

1. Introdução

Este projeto surge no contexto do PASMO (Plataforma Aberta para o desenvolvimento e experimentação de Soluções para a Mobilidade), da necessidade do desenvolvimento de plataformas de suporte aos Sistemas Inteligentes de Transporte e Comunicações Veiculares e da vontade de providenciar serviços mais seguros, eficientes, fiáveis, inteligentes e automáticos no que toca à mobilidade e ao que daí advém.

Consideramos também que o surgimento e evolução de criptomoedas e das transações baseadas em DLT (*Distributed Ledger Technology* como *Blockchain*) serão também determinantes para o futuro das transações digitais.

O objetivo deste projeto é a criação de um sistema que facilite aos utilizadores o processo de pagamento de portagens através do smartphone com transações em tempo-real, que forneça dados organizados para a monitorização de todas as transações efetuadas na infraestrutura rodoviária e a integração com um sistema de pagamento existente na estrada.

As tarefas a realizar pelo grupo seriam o desenvolvimento da interface entre o utilizador e o sistema através de uma aplicação móvel, que faz a comunicação *wireless* com as Road Side Units (RSUs), que permita aos condutores e passageiros dos veículos visualizar as transações realizadas para pagamento de portagens e que funcione como “carteira virtual”. Também seria desenvolvida a interconexão entre a plataforma Web e as RSUs para a recolha de informações de pagamento.

2. Trabalhos Relacionados

Neste projeto, e face ao que foi dito antes, o problema centra-se na inexistência de um serviço que permita ao utilizador efetuar o pagamento de portagens em tempo real com recurso apenas ao smartphone.

Aquando do início deste projeto, já existiam algumas RSUs montadas e operacionais em Aveiro e no Porto. Essas RSUs publicam os dados capturados com recurso a Broker - que abordaremos com mais detalhe mais à frente. Já existiam também serviços consumidores do Broker com objetivos diferentes daqueles que seriam necessários para a realização deste projeto.

Estava a ser desenvolvido, de forma independente a este projeto, pela colega Joana Bernardino no âmbito da sua dissertação de mestrado, a realização de transações através da Tangle da IOTA Foundation que recorre a tecnologias de Blockchain. Achamos importante referir que o nosso sistema é baseado em Blockchain por ser concretizado com recurso à implementação destes pagamentos e não por depender de um serviço de Blockchain desenvolvido por nós.

O grupo reuniu com os orientadores e restante equipa de trabalho para perceber qual a melhor forma de integrar o nosso trabalho no trabalho já existente e de que forma o correlacionar com outros projetos da equipa, seja de outros grupos de PEI, seja de teses de mestrado, e qual a melhor forma de trabalhar os dados obtidos da RSU.

Concluimos que seria interessante desenvolver o nosso projeto de forma análoga ao outro grupo desta cadeira que é parte do projeto (Grupo 4 - Controlo de Tráfego para Serviços C-ITS) para que no final estes pudessem ambos ser integrados num sistema geral que seria parte da dissertação de mestrado do colega Lucas Seabra. Desta forma, foi importante não só a coordenação dentro do grupo mas também entre grupos no seio da equipa de trabalho.

De referir também que tanto a Via Verde como os CTT possuem serviços similares àquele que pretendemos implementar. No entanto, não são diretamente orientados ao pagamento automático ou em tempo real da tarifa da portagem ou não são direcionados ao uso do smartphone para o efeito.

3. Modelo conceptual

Nas sub-seções apresentadas de seguida é descrito os potenciais utilizadores do sistema e a sua interação com as aplicações desenvolvidas. Para além disso, também se destaca a prioridade das funcionalidades implementadas durante o desenvolvimento.

3.1 Atores

A aplicação móvel é destinada a todas as pessoas que utilizam estradas que requerem um pagamento para a circulação, mais objetivamente as autoestradas. Assim, o público alvo é muito abrangente, visto que podem utilizar a aplicação jovens recém-encartados mas também, num extremo oposto, pessoas com idade mais avançada. Ou seja, terá de ser desenvolvida de forma a que tanto utilizadores com elevado conhecimento tecnológico como utilizadores inexperientes nas novas tecnologias consigam utilizar a aplicação sem dificuldades. Podemos assim concluir que a aplicação terá de ter uma interface simples e intuitiva para que possa ser acessível a todo o público alvo.

Por outro lado, a aplicação Web será desenvolvida para os técnicos e gestores do serviço, ou seja, pessoas que se consideram ter mais capacidades técnicas e que utilizam a Internet com regularidade e sem grandes dificuldades. Apesar de ter um público alvo mais experiente, terá uma interface simples e eficaz, com todas as informações acessíveis facilmente e rapidamente, o que permite qualquer pessoa de utilizar sem dificuldades.

Não se espera que os utilizadores tenham muita experiência com tecnologias, apesar de estar familiarizado com o sistema operativo ser uma vantagem. Como a aplicação móvel terá uma interface intuitiva e simples, não é necessário o utilizador ter conhecimentos técnicos. No caso do Website de controlo, também não é necessário ter experiência tecnológica, visto que a interface será simples e com todas as funcionalidades facilmente acessíveis.

Os principais atores considerados são os seguintes:

Cliente: Representa o utilizador da aplicação móvel. É esperado que não tenha muita experiência com tecnologias. Pode efetuar pagamentos, ver o histórico de pagamentos, iniciar e terminar uma viagem, efetuar uma reclamação de um serviço e editar as informações da conta. Não é previsto que o cliente tenha acesso ao Website.

Gestor: Representa o gestor do serviço. Considera-se ter alguma experiência com tecnologias. Pode ver o mapa com todas as RSU e, ao selecionar uma RSU, verificar todos os pagamentos efetuados na mesma. Pode também ver uma lista com todos os pagamentos de todas as RSU e ver também os dados estatísticos das mesmas. Não é suposto que o gestor tenha de interagir com a aplicação móvel.

3.2 Casos de Uso

A figura 1 apresenta o modelo dos casos de uso da totalidade do sistema, sendo o sistema constituído por dois módulos principais: a aplicação móvel e a aplicação Web.

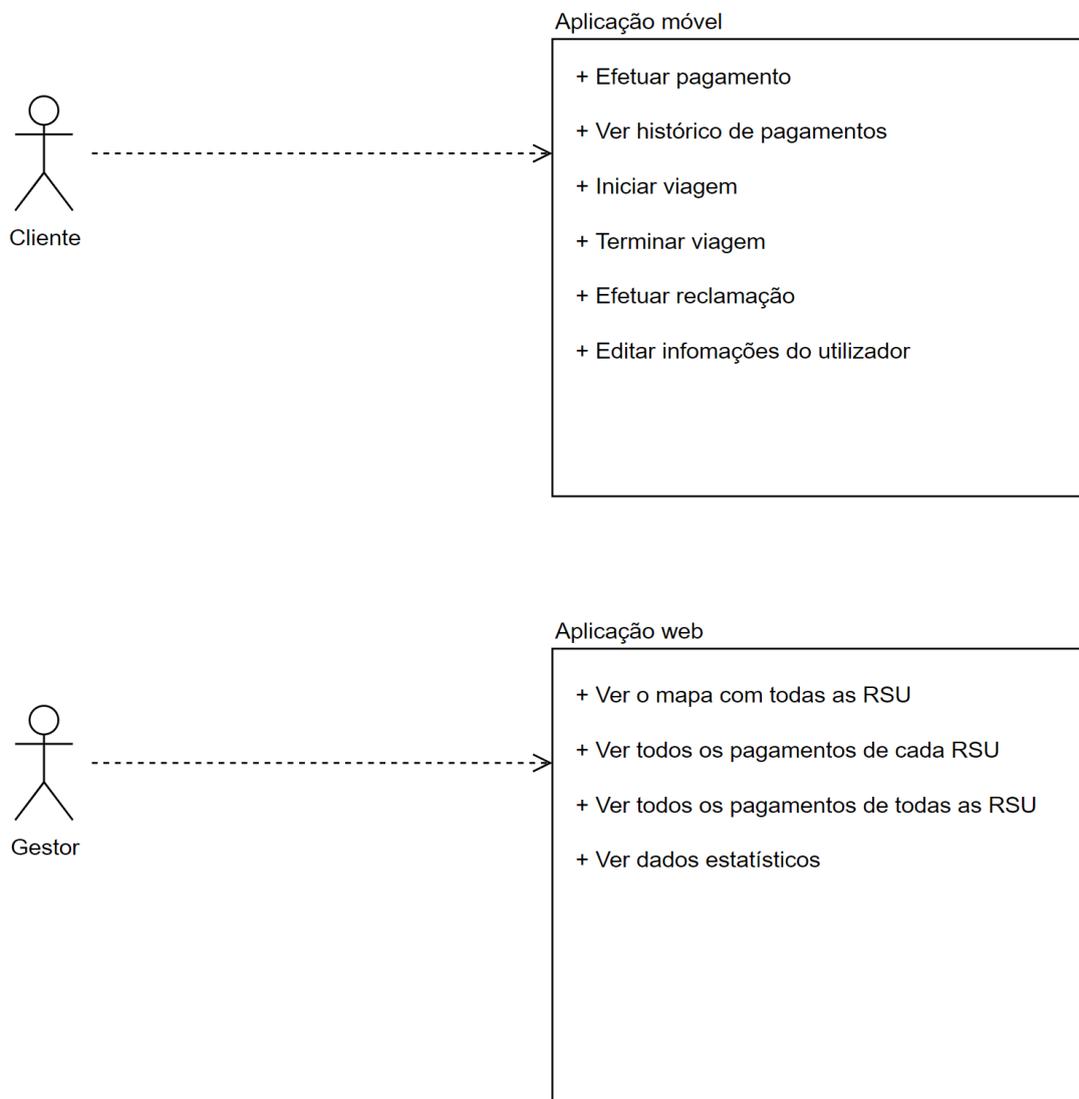


Figura 1: Atores do Sistema

Como se pode observar na figura 1, a aplicação móvel é destinada aos utilizadores do serviço, na qual podem efetuar pagamentos de viagens, ver o histórico de pagamentos, iniciar e terminar uma viagem, efetuar uma reclamação de um serviço e editar as informações da conta. Já a aplicação Web é destinada aos gestores e supervisores do serviço, onde podem ver o mapa com todas as RSU e, ao seleccionar uma RSU do mapa, ver todos os pagamentos efetuados nessa RSU. Podem também ver uma lista com todos os pagamentos efetuados em todas as RSU e os dados estatísticos.

3.3 Aplicação Móvel

A figura 2 apresenta o diagrama de casos de uso da aplicação móvel.

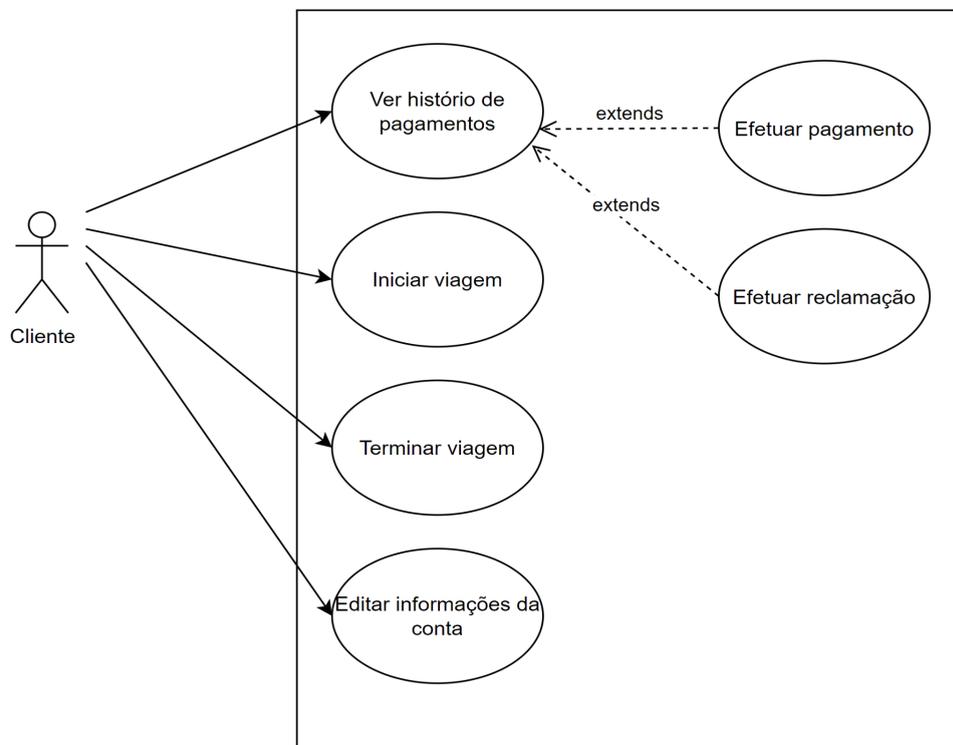


Figura 2: Caso de Uso da Aplicação Móvel

De seguida, enumeram-se todos os casos de uso da aplicação móvel, assim como uma descrição de cada um deles:

- **Ver histórico de pagamentos:** O utilizador pode ver uma lista com o histórico de pagamentos efetuados pela conta. Será possível ver as informações relativas a cada pagamento, assim como o seu estado (Pago, Por pagar ou Em processamento).
Prioridade: Alta
- **Efetuar pagamento:** Após abrir a página do histórico de pagamentos, será possível selecionar um pagamento em dívida e prosseguir para o seu pagamento.
Prioridade: Alta
- **Efetuar reclamação:** Após abrir a página do histórico de pagamentos, ao selecionar um pagamento será possível fazer uma reclamação do serviço.
Prioridade: Baixa

- **Iniciar viagem:** O utilizador pode iniciar uma viagem, começando a contagem do valor a pagar no final da viagem.
Prioridade: Alta
- **Terminar viagem:** O utilizador pode terminar uma viagem, terminando a contagem do valor da respectiva viagem.
Prioridade: Alta
- **Editar informações da conta:** O utilizador pode editar as informações respetivas à sua conta de utilizador. Pode adicionar fundos, remover fundos, alterar o e-mail, alterar o nome, alterar o contacto, alterar a palavra-passe e adicionar ou remover matrículas de veículos associados à conta.
Prioridade: Média

3.4 Aplicação Web

A figura 3 apresenta o diagrama de casos de uso da aplicação Web.

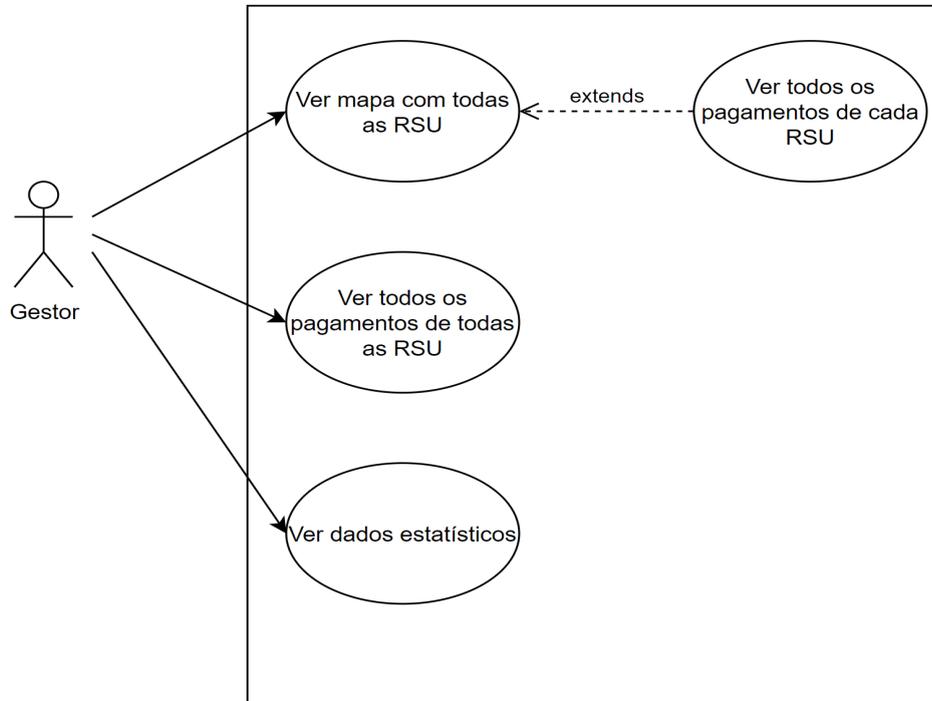


Figura 3: Caso de Uso da Aplicação Web

De seguida, enumeram-se todos os casos de uso da aplicação móvel, assim como uma descrição de cada um deles:

- **Ver mapa com todas as RSU:** O gerente pode ver um mapa com todas as RSU no sistema.
Prioridade: Alta
- **Ver todos os pagamentos de uma RSU:** Após abrir o mapa com todas as RSU, o gerente pode selecionar uma RSU e ver todos os pagamentos associados à respectiva RSU, assim como observar as informações da mesma.
Prioridade: Alta
- **Ver todos os pagamentos de todas as RSU:** O gerente pode ver uma lista com todos os pagamentos de todas as RSU. Cada pagamento tem associado a RSU em que foi efetuado, assim como outras informações relativas ao pagamento.
Prioridade: Média
- **Ver dados estatísticos:** O gerente pode ver dados estatísticos relativos a toda informação do sistema. Será possível ver a média de carros por hora/dia/semana/mês/ano, total de carros na última hora/dia/semana/mês/ano, quais as RSU mais rentáveis, velocidade média na última hora/dia/semana/mês/ano e o lucro total por hora/dia/semana/mês/ano.
Prioridade: Baixa

4. Requisitos funcionais e não funcionais

4.1 Requisitos funcionais

- **RF1** - Visualizar as transações DLT realizadas em tempo real na Mobile App.
- **RF2** - Visualizar as transações efetuadas em cada RSU na Web App.
- **RF3** - Efetuar pagamentos através da IOTA na Mobile App.
- **RF4** - Pagamento automático/manual e implementação de mecanismos para pagamentos posteriores caso o utilizador falhe a data limite de pagamento.
- **RF5** - Cada transação é identificada por uma *hash* única.
- **RF6** - Ligação wireless às RSUs recorrendo à tecnologia V2X.
- **RF7** - O smartphone é localizado através de GPS durante o uso da Mobile App.
- **RF8** - A Web App comunica com uma base de dados central.
- **RF9** - As informações das RSUs são registadas na base de dados central.
- **RF10** - Guardar informação sobre os veículos.
- **RF11** - Validar a identificação dos utilizadores da Mobile App.
- **RF12** - Verificar o saldo da conta na Mobile App.

4.2 Requisitos não-funcionais

- **RNF1** - Usabilidade: A Mobile e Web Apps devem ser fáceis de se usar e aprender.
- **RNF2** - Interoperabilidade: A Mobile App deve comunicar com as RSUs e a Web App com o MongoDB.
- **RNF3** - Segurança: Uso de tecnologias baseadas em Blockchain para assegurar a segurança das transações
- **RNF4** - Implementação: Usar React e Mapbox na Web App e React-Native com Expo e Mapview na Mobile App.
- **RNF5** - Robustez: O sistema deve estar preparado para lidar com eventuais problemas de comunicação.
- **RNF6** - Eficiência: Ter em atenção aos recursos consumidos pelo smartphone no uso da Mobile App.
- **RNF7** - Performance: As Apps devem responder de forma rápida aos eventos, < 500ms.
- **RNF8** - Portabilidade: A Mobile App deve ser compatível com qualquer smartphone e tablet e a Web App deve ser compatível com qualquer browser.

5. Pressupostos e dependências

De modo a haver comunicação entre o sistema e os utilizadores assume-se do princípio que os smartphones/tablets conseguem comunicar com as RSUs através de V2X Wireless e que existe uma ligação à Internet para efetuar pagamentos.

Do lado do gestor, tem que haver uma ligação à Internet para que seja possível aceder à Web App. Assume-se também que tanto as RSUs como a infraestrutura responsável por guardar informação sobre os veículos já estão montadas e a funcionar.

6. Procedimento

Nas sub-seções apresentadas de seguida é descrito a comunicação entre as várias entidades, assim como as ferramentas usadas para o desenvolvimento do projeto e, de uma forma detalhada, todo o funcionamento e implementação do sistema.

6.1 Arquitetura do sistema

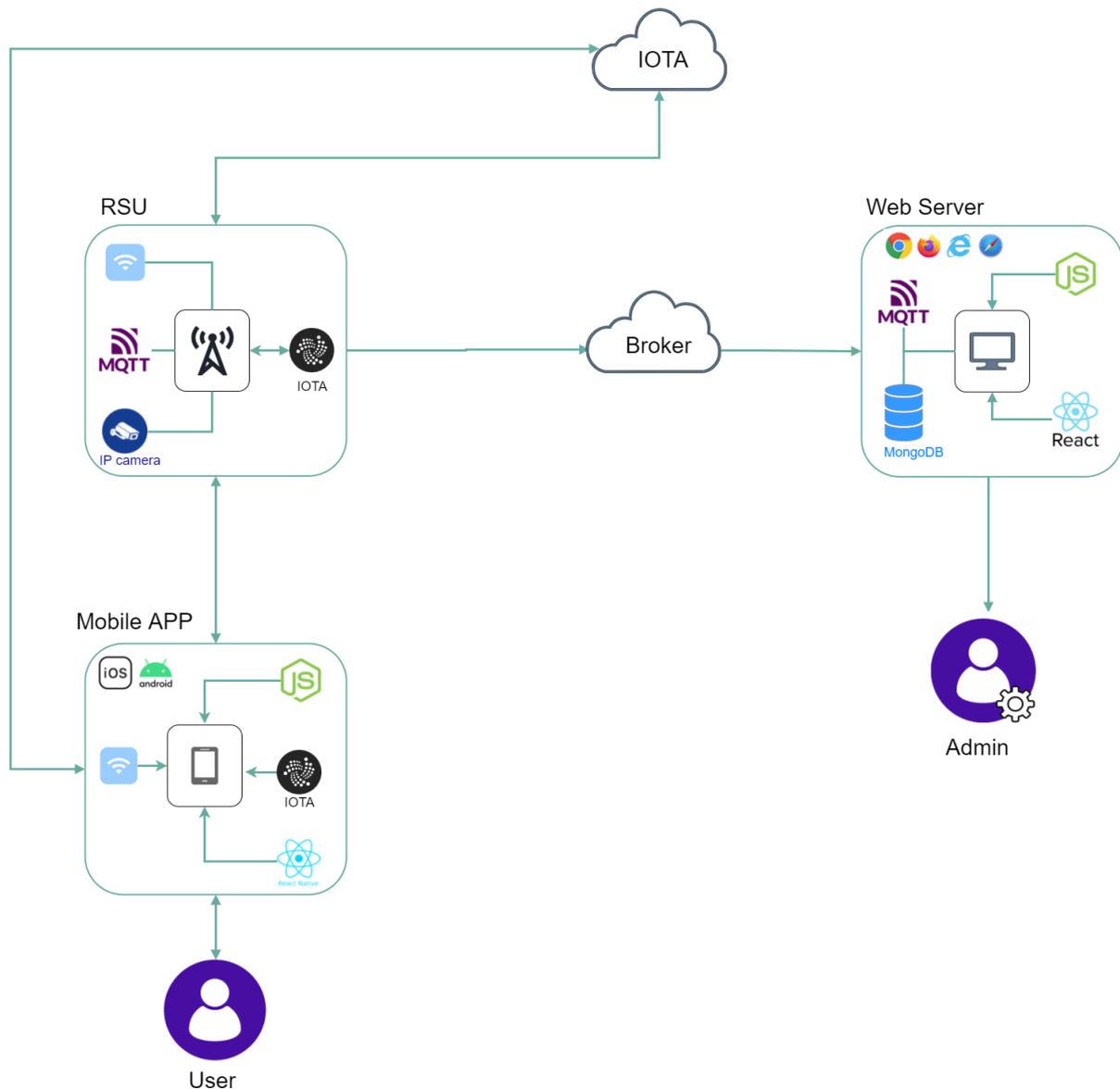


Figura 4: Arquitetura do sistema e ferramentas usadas

A arquitetura está dividida em três componentes, sendo estes a RSU, a Aplicação Móvel e a Aplicação Web.

A RSU, componente que faz a ponte entre a App Móvel e a App Web, é responsável pela criação de um endereço de pagamento registado na Tangle, para a transação de uma portagem em específico. O endereço para o pagamento é enviado para a App e o utilizador pode efetuar a transação. Caso esta seja efetuada com sucesso, será registada na Tangle.

As coordenadas das RSUs e os detalhes das transações são publicadas e subscritas em tópicos de broker, através de heartbeat, e toda a informação é inserida na base de dados e disponibilizada na Aplicação Web.

6.2 A Aplicação Móvel

Ao entrar na aplicação, é apresentada a página inicial que contém um mapa onde se verifica a posição GPS do smartphone (figura 6) mas não antes que o consentimento do uso dos dados seja efetuado por parte do utilizador. Para este efeito foi utilizado um plugin que facilita a integração da funcionalidade na aplicação.

A partir da página principal, o utilizador pode navegar, através de um menu, até às diversas páginas onde é possível efetuar as operações relativas aos pagamentos das portagens e definições da conta:

- Visualização dos pagamentos pendentes/efetuados
- Visualização do saldo da conta
- Visualização de informação da conta de utilizador

Os pagamentos, como já foi referido ao longo deste relatório, são efetuados através da rede do *IOTA* onde a sua ligação, que está implementada no código através de um plugin próprio, é assegurada através de um nó atualmente presente no Instituto de Telecomunicações (IT). Estes nós são nada mais do que um software desenvolvido pela *IOTA* que pode ser instalado e executado numa máquina tanto high-end como low-end, por exemplo um *Raspberry Pi*.

Assim sendo, cada utilizador possui uma *seed* aleatória, única e privada, para identificar o utilizador na rede e um endereço na rede que funciona como uma carteira de utilizador. Com estes dados, o utilizador pode verificar o saldo do seu endereço (figura 7) e efetuar transações para endereços de destino na rede. A lista de transações pendentes pode ser, também, visualizada pelo utilizador (figura 8) que neste caso as recebe através de uma ligação wireless a uma RSU que é simulada recorrendo a sockets. A informação recebida contém o endereço de destino no *IOTA* e o seu valor e esta comunicação é o aspeto mais importante da aplicação.

Após efetuada a transação, o cliente envia o resultado que contém um novo endereço do *IOTA* onde é possível verificar os detalhes da transação.

Finalmente, alguns detalhes do utilizador são guardados não só pela App mas pelos equipamentos na estrada, como por exemplo as câmeras que capturam a matrícula do veículo. Portanto, cada utilizador é identificado no sistema com a sua conta e matrícula do veículo. A informação de utilizador pode ser consultada também através da app, como é mostrado na figura 9.

Uma ilustração da comunicação pode ser verificada na figura 5.

Por fim, os plugins utilizados podem ser vistos na tabela 1.

Plugins	Especificação
MapView	Integração de um mapa em react native com expo
IOTA	Implementação das operações sobre a rede do IOTA
Socket.io	Ligação wireless entre RSU e smartphone

Tabela 1: Resumo dos plugins utilizados na aplicação móvel

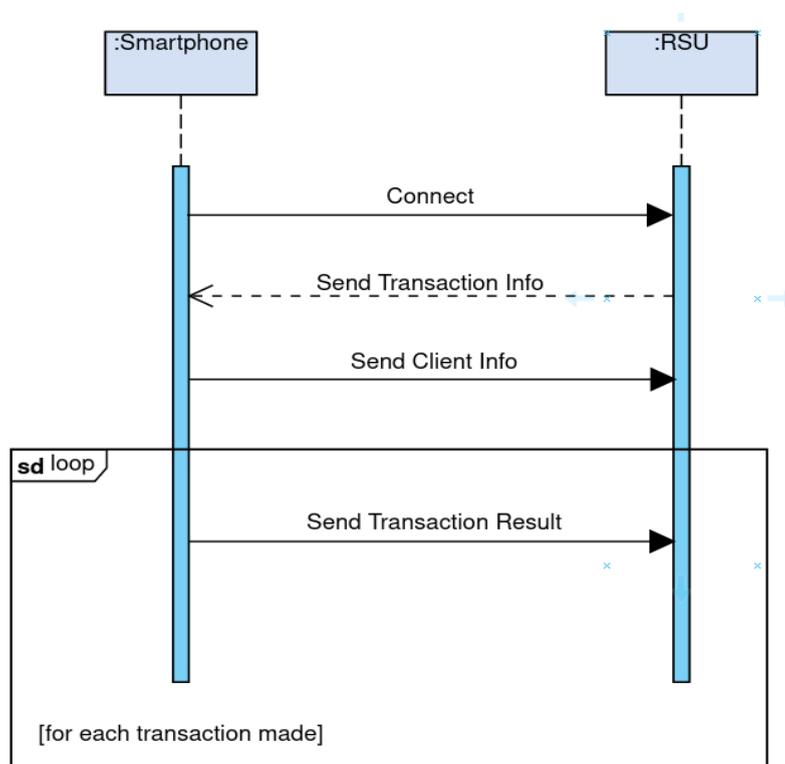


Figura 5: Sequência de aquisição dos dados de uma transação

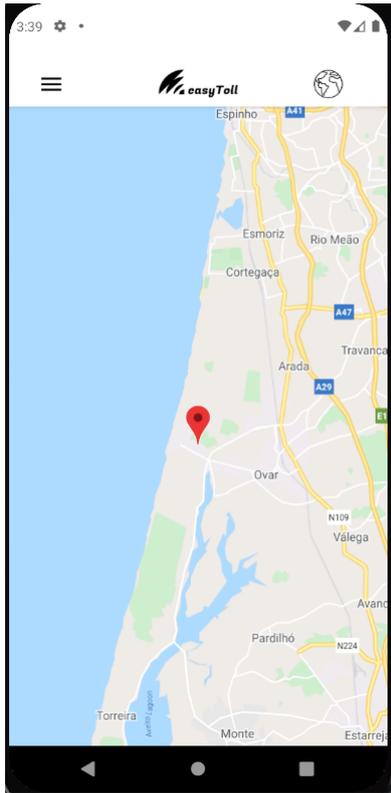


Figura 6: Página Principal Mobile

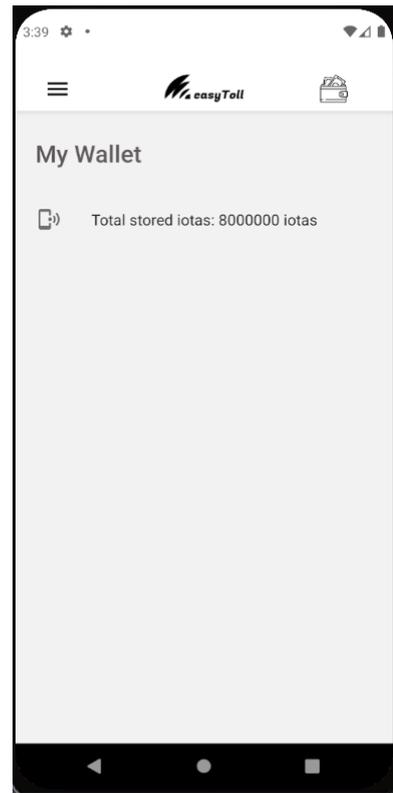


Figura 7: Carteira Digital

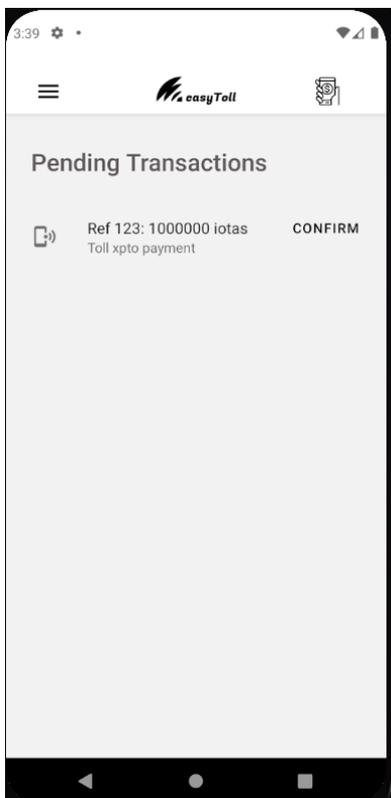


Figura 8: Transações Pendentes

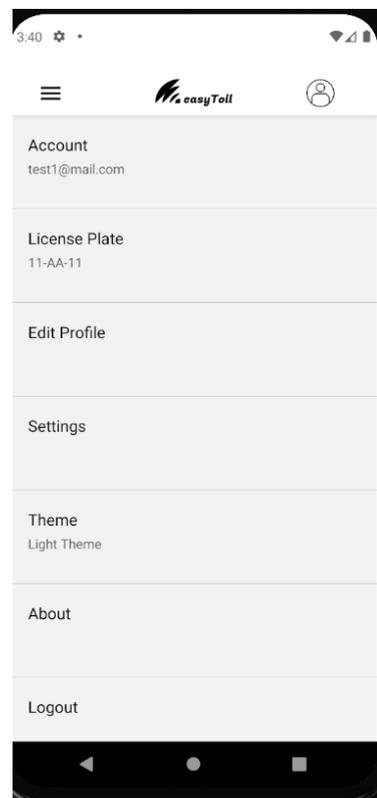


Figura 9: Detalhes da Conta

Como já foi referido, o código da mobile app é construído e compilado em **React Native** com recurso ao **Expo** que facilita e simplifica a implementação da app em ambiente mobile tanto para Android como iOS. Assim, é possível criar aplicações rápidas que funcionem em qualquer plataforma mobile.

Para propósitos de demonstração da Aplicação Móvel, foi utilizado apenas uma conta de cliente com dados estáticos e um endereço *IOTA* previamente carregado com moedas de teste. Já os pagamentos são testados recorrendo à rede *IOTA* de teste utilizando o nó de teste também disponibilizado em vez do nó do IT para pagamentos com valores.

Foi utilizado um programa em Python para simular a ligação entre o smartphone e uma RSU que neste caso gera endereços e valores de *IOTA* aleatórios que são então transmitidos ao cliente e que constituem as referências de pagamento das portagens. Assim, o cliente, ao efetuar o pagamento, transfere do seu endereço do *IOTA* o número necessário de moedas para o endereço destino recebido.

6.3 O Servidor Web

A página Web, como já foi dito anteriormente, foi pensada para ser utilizada como ferramenta de gestão por parte da entidade concessionária da autoestrada e/ou dos dispositivos RSU.

A aplicação permite navegar num mapa que é disponibilizado através da biblioteca *JavaScript Mapbox GL JS*. Neste mapa é possível observar a localização exata das RSU e é possível, ao clicar sobre elas, observar as últimas transações efetuadas e o estado de conclusão das mesmas. De referir que o objetivo inicial de permitir a consulta de dados estatísticos não foi concretizado.

Desta aplicação faz também parte um serviço que faz de servidor do sistema. Este obtém dados das RSUs através de **MQTT** Broker. Para brevemente contextualizar, o broker é um padrão *publish/subscriber* (publicador/subscritor), um intermediário no processo de comunicação entre os sensores (*publish*) e os diversos clientes (*subscriber*). O protocolo **MQTT** é a sigla para Message Queuing Telemetry Transport, ou seja, é o protocolo de mensagens entre máquinas.

Estas mensagens provenientes das RSUs contém dados essenciais como a localização das Road Side Units, detalhes do seu estado de funcionamento e por último mas não menos importante, dados relativos a cada passagem que por esta é efetuada.

Estes dados são tratados e foi implementada uma base de dados não relacional orientada a documentos com recurso a **MongoDB** para os armazenar através da ferramenta Mongoose. De referir que este servidor está desenvolvido de forma a que seja possível adicionar ou remover Road Side Units sem que o serviço seja afetado. A interface tem a aparência que a seguir mostramos na figura 10.

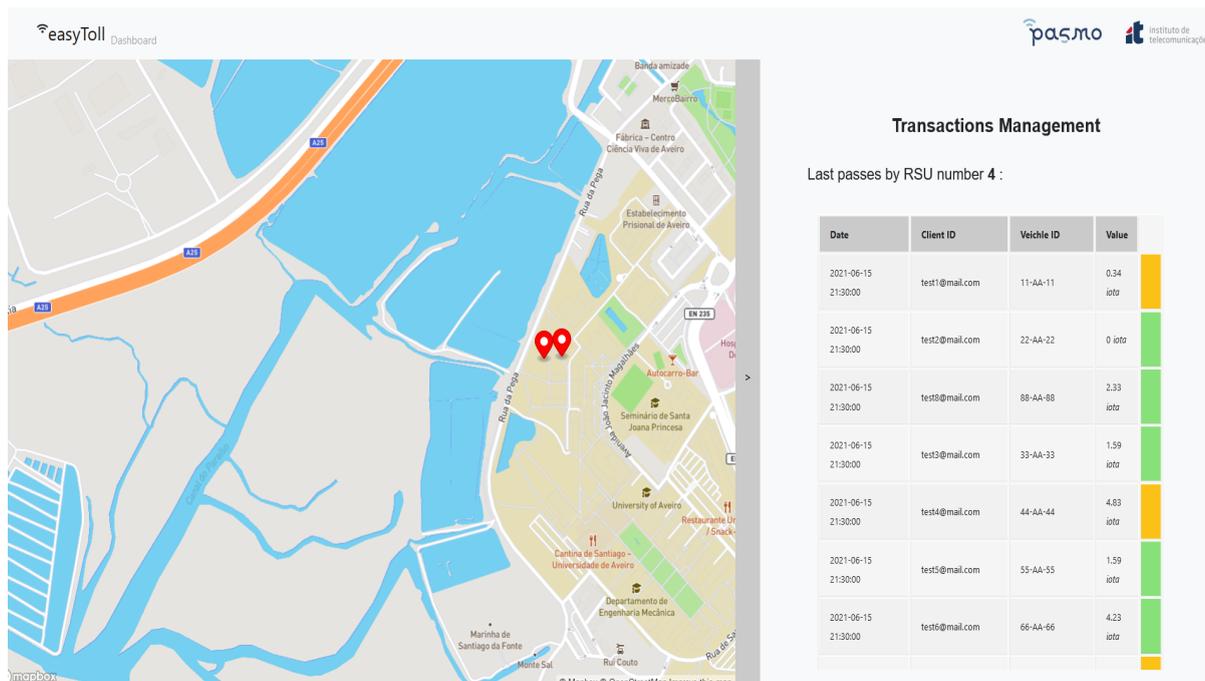


Figura 10: Aplicação Web

Esta interface, desenvolvida com recurso à biblioteca *JavaScript React*, recebe os dados supracitados e disponibiliza-os desta forma. Este é um template criado de raiz e permite mostrar o mapa que neste caso é inicializado na região de Aveiro. Neste mapa estão destacados com recurso a um marcador vermelho as posições das RSU ativas no momento. No exemplo acima podemos observar as RSU de teste localizadas no Instituto de Telecomunicações.

Ao clicarmos numa RSU em específico, o espaço de visualização do mapa estreita e é possível observar à direita uma tabela com as passagens nesta RSU por ordem decrescente de passagem na mesma. Temos à disposição, para além da data e hora de passagem do veículo, dados como o ID do cliente representado por um e-mail, ID do veículo representado pela sua matrícula e a quantia transacionada, em lotas. Na coluna mais à direita pretendemos dar a indicação do estado do pagamento. O indicador surge a amarelo se o pagamento estiver pendente e a verde se este já tiver sido concretizado.

Por fim, e à semelhança da aplicação móvel, os plugins utilizados, assim como uma ilustração da comunicação entre o servidor e o broker e a interação com a base dados podem ser vistos na tabela 2 e figura 11, respetivamente.

Plugins	Especificação
MapBox GL JS	Integração de um mapa MapBox em React
MQTT	Subscrição do broker

Tabela 2: Resumo dos plugins utilizados na aplicação Web

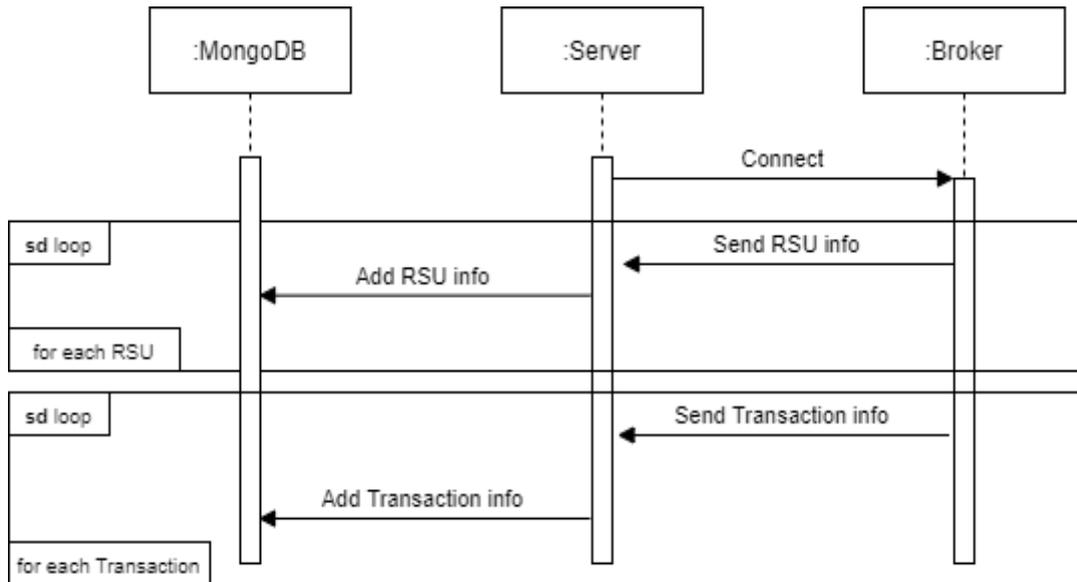


Figura 11: Sequência de aquisição dos dados das RSUs a Transações

7. Resultados e discussão

No caso da Mobile App, grande parte das funcionalidades foram implementadas, no entanto como não existia informação real referente aos utilizadores, nem havia acesso aos dados capturados pelos equipamentos na estrada como, por exemplo, as matrículas dos veículos, optou-se por testar a mobile app com dados estáticos de utilizador criados aleatoriamente. Deste modo a funcionalidade **RF11**, referente à validação das contas de utilizador, não está atualmente implementada na mobile app, pelo que houve um maior foco na implementação das funcionalidades dos pagamentos. Para além disso, o uso das ferramentas e bibliotecas já discutidas garantem a concretização dos requisitos não funcionais relativos à mobile app. No entanto, o requisito **RNF7** referente à performance da app terá que ser testado num maior número de dispositivos já que o tempo de resposta da app estará dependente do poder computacional dos dispositivos. Este tempo ainda poderá ser melhorado à medida que o desempenho das operações criptográficas das bibliotecas do IOTA aumente com novas atualizações no futuro.

Já no caso da Web App, ao contrário do que estipulámos num dos casos de uso e inicialmente achámos possível, o sistema não permite visualizar dados estatísticos como a média de carros, total de carros, rentabilidade das RSU, velocidade média, etc. Sendo este um requisito de prioridade baixa, concentrámo-nos mais afincadamente noutros aspetos práticos do sistema e decidimos não implementar essa feature.

Em relação aos requisitos funcionais inicialmente definidos para a Web App, consideramos que a maior parte destes foram cumpridos. De notar que esperávamos poder disponibilizar mais informação tanto acerca do cliente como da viatura em si mas sendo esta uma aproximação à realidade para efeitos de desenvolvimento, o mesmo acabou por não ocorrer. Podemos dizer assim que o **RF10** não foi cumprido na sua totalidade pois só guardamos a informação que é disponibilizada na interface.

No caso dos requisitos não funcionais definidos para a Web App consideramos tê-los cumprido na totalidade. Cremos ter desenvolvido uma plataforma simples, fácil de usar, robusta, implementada de acordo com as diretivas por nós estipuladas e de fácil portabilidade.

Consideramos assim que a solução criada para a Web App cumpriu o objetivo e satisfaz as necessidades que estipulámos para ela.

No cômputo geral, todos os objetivos do projeto foram alcançados e as funcionalidades principais foram implementadas e validadas através de testes realizados em browsers para a app web e emuladores android para a app mobile. Também se garantiu a ligação entre os vários módulos existentes no sistema.

Achamos importante referir também que recentemente ocorreu uma atualização na rede do IOTA e portanto a rede utilizada nos testes anteriores deixou de ter suporte, o que levou à atualização do código para implementar as novas bibliotecas do IOTA. No entanto, existe um problema de compatibilidade entre as bibliotecas e a expo - plataforma que usamos para manipulação da Aplicação Móvel React Native. Problema esse que ainda não se encontra resolvido no aquando do encerramento deste projeto. Assim sendo e de modo a simular a interação com a rede do IOTA, as novas bibliotecas estão implementadas no programa Python que também simula a RSU e os dados necessários são comunicados à Aplicação Móvel.

Refletindo acerca do que não foi tão bem conseguido como inicialmente teríamos pensado, consideramos que fizemos uma má avaliação daquilo que gostaríamos que fosse o produto final face ao tempo e às condições que tínhamos disponíveis. Inicialmente pensou-se que seria possível desenvolver a aplicação até ao ponto em que seria possível disponibilizá-la nas plataformas de serviço de distribuição digital de aplicações móveis e tal não se verificou. No entanto acreditamos que se o trabalho que desenvolvemos tiver continuidade, tais objetivos podem, no futuro, realizar-se.

8. Conclusão

O projeto teve como principal objetivo o desenvolvimento de uma interface para dispositivos móveis que permitisse o pagamento das portagens, em tempo real, baseado em criptomoeda, através da comunicação bidirecional com dispositivos localizados nas autoestradas.

Consideramos que, a curto prazo, a solução de Mobilidade Inteligente que aqui exploramos, se desenvolvida no seu todo e implementada pelas entidades a quem isso compete, pode facilitar muito a forma como utilizamos as autoestradas. Para além de descartar a necessidade de identificadores no pára-brisas dos veículos, facilitará a adesão ao serviço, o pagamento da utilização da infraestrutura rodoviária e sobretudo a comodidade com que isto é feito.

Consideramos também que a utilização de criptomoedas será determinante para o futuro das transações digitais entre pessoas, organizações e “coisas”, pelo que foi uma vantagem ter esta *nuance* adicionada ao projeto.

Assim, e em jeito de conclusão, cremos ter abordado e desenvolvido os pontos essenciais para o início daquilo que poderá ser uma nova era das transações entre utilizador e fornecedor de um serviço no âmbito das infraestruturas rodoviárias.

Julgamos, assim, ter cumprido a maioria dos objetivos acordados no início do semestre, com especial foco nos requisitos que foram considerados como tendo prioridade alta.

Durante o desenvolvimento deste projeto, o grupo teve de lidar com alguns contratempus como o funcionamento incorreto de dispositivos e problemas de compatibilidade entre pacotes e algumas ferramentas usadas para o desenvolvimento do projeto, que foram em grande parte superados.

Como trabalho futuro, pensamos que seria interessante fazer uma melhor aproximação à realidade, ao desenvolver um histórico com todas as transações efetuadas por determinado utilizador, um eventual mecanismo de multas a aplicar caso o utilizador não possua na sua carteira virtual saldo suficiente para efetuar a transação. Consideramos também que seria útil a possibilidade de login na Aplicação Web por parte do utilizador comum de forma a permitir a consulta dos detalhes das próprias transações.

9. Referências

- [1] Jake Frankenfield, “*What is the IOTA Tangle?*”, Investopedia, maio de 2021
<https://www.investopedia.com/terms/t/tangle-cryptocurrency.asp>
- [2] Jake Frankenfield, “*What is a Broker?*”, Investopedia, outubro de 2020
<https://www.investopedia.com/terms/b/broker.asp>
- [3] A-to-Be, “*Tolling Technologies for a Brighter Future*”, White Paper #1 - The Future of Tolling, março de 2021
<https://www.a-to-be.com/wp-content/uploads/2021/03/White-Paper-1-Future-of-Tolling.pdf>
- [4] A-to-Be, “*All-Electronic Tolling: Saving the Environment, Your Wallet and Your Time*”, White Paper #2 - The Future of Tolling, março de 2021
<https://www.a-to-be.com/wp-content/uploads/2021/05/A-to-Be-White-Paper-2-Future-of-Tolling-AET.pdf>
- [5] Desmond Yuen, “*The Future Begins with The Road Side Unit*”, Edge Computing Is So Much More Fun - Part 2, outubro de 2020
<https://medium.com/predict/edge-computing-is-so-much-more-fun-ac2a8a23e696>
- [6] Documentação IOTA
<https://docs.iota.org/>
- [7] IOTA Tangle Explorer para a testnet
<https://explorer.iota.org/testnet>
- [8] Documentação MapBox
<https://docs.mapbox.com/mapbox-gl-js/api/>
- [9] Documentação MQTT
<https://mqtt.org/>
- [10] Documentação MongoDB
<https://docs.mongodb.com/manual/>

10. Ligações Adicionais

- [Página principal do projeto](#)
- [Página de documentação e registo de trabalho semanal](#)
- [Vídeo promocional easyToll](#)