

Construindo um Smart IoT Gateway

Danilo Guimarães *

Ricardo Rodrigues †

Uillan Araújo ‡

15 de Setembro de 2017

Resumo

De acordo com o grande avanço da Computação, torna-se comum a coexistência de objetos reais com o mundo virtual. Devido a essa evolução, têm-se a necessidade de uma padronização de conceitos como a *Internet of Things* (IoT) com a comunicação de seus dispositivos, assim surge a ideia de um Gateway para agregar e centralizar essa transição de informações. Este trabalho propõe um estudo breve sobre Gateway IoT, isto é, construir um software Smart IoT Gateway funcional e utilizável em projetos de pequeno e médio porte.

Palavras-chaves: Internet of Things. IoT Gateway. Arquitetura de Software.

Abstract

According to the great advance of Computing, it becomes common the coexistence of real objects with the virtual world. Due to this evolution, there is a need for a standardization of concepts such as Internet of Things (IoT) with the communication of its devices, thus the idea of a Gateway to aggregate and centralize this transition of information. Thus, this work proposes a brief study on Gateway IoT, that is, to build an Smart IoT Gateway functional and usable in small and medium-sized projects.

Key-words: Internet of Things. IoT Gateway. Software Architecture.

Introdução

Com os recentes avanços das tecnologias, especificamente nas últimas décadas e devido a democratização da Internet, nossa sociedade tem caminhado para um cenário cada vez mais conectado. Se antes apenas super-computadores e máquinas robustas eram conectadas à rede, a tendência nos próximos anos é que dispositivos cada vez menores também tenham seu espaço na Internet. A essa tendência chamamos *Internet of Things* (Internet das Coisas ou IoT). É uma nova visão que descreve objetos fazendo

*guimaraesdjl@gmail.com

†ricardo.faria@outlook.com.br

‡uillan@outlook.com

parte da rede, onde cada um deles é unicamente identificado, acessível através da rede, com posição e estado conhecido, captando informações sensoriais ou agindo sobre o ambiente. Serviços são construídos com base nesses objetos ¹. Estima-se que até 2020, sejam investidos cerca de US\$ 267 bi na indústria e serviços voltados para IoT ^{2, 3}.

As pressões comerciais são implacáveis, como resultados os requisitos estão se tornando cada vez mais complexos exigindo uma maior conectividade entre dispositivos legados e os novos, o que leva à necessidade de personalizações. À medida que a conectividade aumenta, novos pontos de ataque surgem e as empresas estão cada vez mais preocupadas com riscos de ataques cibernéticos. E com isso as empresas enfrentam um desafio ao encontrar uma solução que atenda as suas necessidades específicas, e isso está impulsionando a necessidade de dispositivos IoT personalizados. Assim surgem os Smart IoT Gateway ⁴.

Para entender melhor como as tecnologias envolvidas funcionam, o objetivo deste trabalho é construir um Smart IoT Gateway open-source, funcional e de uso simples, onde usuários cadastrem ações baseados nos dados enviados por um sensor cadastrado. Neste trabalho não temos como objetivo construir um projeto de hardware para um Gateway IoT.

1 Internet of Things

A Internet começou como uma forma do governo comunicar após uma guerra nuclear, mas evoluiu para ser muito mais do que uma rede. De muitas maneiras, a Internet tornou-se um mundo digital que tem ligações ao nosso mundo físico ⁵.

Conforme as tecnologias avançam, torna-se cada vez mais comum que todos estejam conectados. E com essa evolução os objetos físicos passam a coexistir com a Internet, impactando em diversos aspectos no cotidiano das pessoas seja no profissional ou pessoal.

A Internet das Coisas (do inglês, *Internet of Things*, ou simplesmente IoT) é essa revolução tecnológica que visa conectar dispositivos eletrônicos (como aparelhos eletrodomésticos, máquinas industriais, meios de transporte etc.) à Internet. IoT é um termo criado por Kevin Ashton ⁶, um pioneiro da tecnologia britânico que concebeu, em 1999, um sistema de sensores onipresentes conectando o mundo físico à Internet, enquanto trabalhava em identificação por rádio frequência (RFID). O grande valor da IoT está no preenchimento das lacunas entre o mundo físico e digital em sistemas ⁷.

Na sua essência, a IoT significa apenas um ambiente que reúne informações de vários dispositivos (computadores, smartphones, semáforos, e quaisquer coisa com um sensor) e de aplicações (qualquer coisa desde uma aplicação de mídia social como o Twitter a uma plataforma de comércio eletrônico, de um sistema de produção a um sistema de controle de tráfego). Quando se combinam informações de dispositivos e de outros sistemas, enormes recursos de processamento são utilizados para análises expansivas, geralmente associadas com o conceito de *Big Data* ¹ – ou seja, a análise de dados não necessariamente concebidos para serem avaliados em conjunto. Esta noção de múltiplas finalidades é provavelmente a melhor razão para usar o termo “Internet das Coisas”, quando a Internet é mais do que uma rede resistente para ser um canal para qualquer combinação e coleção de atividades digitais ¹.

Em seu processo evolutivo a IoT enfrenta diversos problemas, que variam de

¹ *Big Data* é um termo usado para referenciar grandes e complexos volumes de informações que necessitam de técnicas e ferramentas específicas para serem capturadas, gerenciadas e/ou processadas

aplicativos (sistemas), políticas de segurança e até problemas técnicos. Com todos estes dispositivos conectados à Internet uma enorme quantidade de informação é disponibilizada levantando questões de confiabilidade destas informações. Onde e quem garantirá a autenticidade dessas informações? Quem pode ter acesso à essas informações? Quem irá proteger essas informações? São alguns dos problemas enfrentamos ao se disponibilizar as informações de objetos do mundo físico ao mundo virtual. Uma padronização entre as tecnologias é bastante importante, pois ela levará a uma melhor interoperabilidade, reduzindo barreiras. Muitos fabricantes estão criando suas próprias soluções (Intel, Dell etc.) o que as levam à ter comportamentos diferentes, dificultando a integração destes sistemas ou dispositivos ^{8,9}.

2 Gateway IoT

Ao utilizar IoT, de imediato temos algo que estará conectado à Internet. Esse "*algo*" não necessariamente se conecta de forma direta. Na grande maioria dos casos, essa conexão se dá por meio um gateway. Gateway IoT é uma aplicação (ou dispositivo com aplicação embarcada) responsável por receber requisições de diversos sensores e em algumas situações executar ações ¹⁰.

O gateway é similar a um roteador ², porém, ele pode unir redes de diferentes protocolos através de um processamento local para a tradução e conversão de protocolos. Gateways são muito utilizados em ambiente industrial e corporativo, porém, com o avanço da IoT, é mais comum encontrar esse tipo de equipamento para uso residencial.

Com a evolução dos gateways são utilizados basicamente dois tipos de Gateways IoT ¹¹, os *Traditional Gateways* que não são inteligentes e apenas armazenam a informações para futura transmissão, e os *Smart Gateways* que além disso, podem fazer ações, tais como:

- Persistir as informações;
- Efetuar transformação dos dados recebidos;
- Guardar os dados temporariamente para posteriormente transmiti-los para a Internet;
- Executar regras de segurança sobre os dispositivos;
- Executar ações com base nos dados recebidos e regras configuradas.

A Figura 1 ilustra uma arquitetura convencional de um Gateway IoT e suas relações com os sensores e com o Data Center.

Sensores são dispositivos, geralmente eletrônicos, que reagem a um determinado estímulo ou mudança no ambiente onde ele se encontra instalado. Seu principal propósito é o de enviar as informações para outros dispositivos presentes no sistema para que a informação seja processada. Em uma rede de sensores, tais dispositivos são instalados no que a indústria nomeia como sendo "campo", ou seja, onde os sensores devem coletar informações. São exemplos de campos: galpões, silos, plantas industriais, florestas, plantações etc. São exemplos de aspectos de ambiente em que sensores atuam: temperatura, umidade relativa do ar, altura, peso, pressão, ausência ou presença de um determinado objeto, etc. Já o

² Roteador é um dispositivo físico de rede cujo objetivo é encaminhar pacotes entre redes de computadores

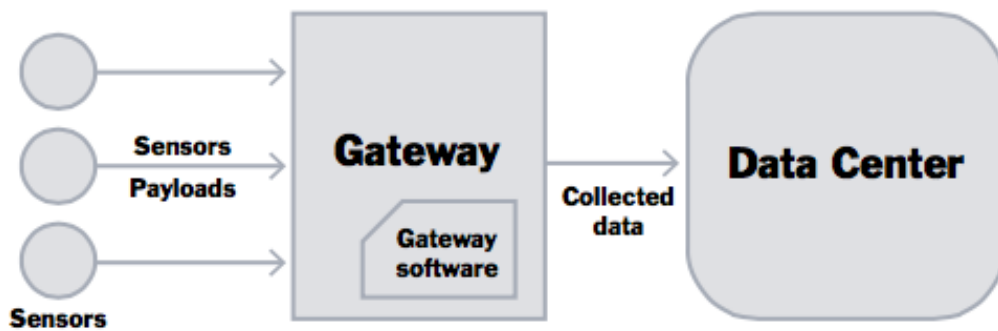


Figura 1 – Descrição esquemática da arquitetura básica de um Gateway IoT ¹². Os *Sensors* representam os sensores (2) e *Sensors Payloads* são as informações que cada um deles envia ao Gateway. O *Gateway Software* é responsável por controlar o Gateway e o *Collected Data* é o conjunto de informações que o Gateway julgou oportuno enviar ao *Data Center*, que é o local onde os dados são armazenados e processados.

Data Center tem o mesmo significado que estamos habituados: um servidor onde dados são mantidos e processamentos são realizados. O Gateway IoT faz exatamente essa ligação entre os sensores e a Internet, uma vez que sensores não costumam ter boas condições de acesso à Internet, tanto do ponto de vista da disponibilidade quanto da largura de banda.

A grande vantagem em construir um Gateway open-source é o alto nível de customização que ele pode oferecer, já que temos total acesso ao sistema operacional, sem restrições impostas pelo fabricante – o que ocorre na maioria dos casos. Essa customização vai permitir usar o gateway em modo *fog computing* ³ para o processamento de informações o mais perto do dispositivo da borda, ou *edge device*, fazendo com que, mesmo na falta de Internet, o dispositivo consiga se manter operacional, ainda que com algumas restrições.

Fazer o seu próprio gateway de IoT pode parecer contra-intuitivo à primeira vista, mas com a baixa nos preços dos SoC's (System-on-a-Chip) ⁴, alavancado principalmente pela Raspberry Pi ¹⁴, torna possível a criação de sistemas computacionais de bom desempenho, tamanho reduzido e baixo custo. Já é possível encontrar SoC's custando menos de US\$ 10 e chips completos e funcionais por menos de US\$ 40 ¹⁵.

3 Solução desenvolvida

Esta seção detalha os objetivos e decisões arquiteturais. Foi desenvolvida uma solução de software de *Smart Gateway IoT* que está disponibilizada no Github, capaz de receber dados através de uma rede utilizando o protocolo MQTT (3.1.1) de um dispositivo previamente cadastro e armazenar essas informações. Os dados recebidos são analisados

³ *Fog Computing*, ou Computação em Névoa, define a arquitetura que estende a capacidade computacional e o armazenamento da nuvem para as camadas de acesso da rede, permitindo que os dados sejam analisados e transformados em informações ou em ações antes de serem simplesmente transmitidos. ¹³

⁴ *System-on-a-chip*, ou simplesmente *SoC*, é um termo utilizado para caracterizar um circuito integrado que engloba todos os componentes de um computador convencional, tais como CPU, GPU (processador gráfico), memória RAM, módulo Wi-Fi, interfaces externas etc. O Raspberry Pi é um dos mais populares exemplares de *SoC*

para a estrutura que irá definir a execução ou não de um fluxo de notificação através de SMS (3.1.1) para um número definido.

3.1 Tecnologias Utilizadas

- Node.js ⁵ v6.x;
- TypeScript ⁶ v2.3 com transpile para ES6;
- TSLint ⁷ v4.x com recomendações gerais padrão;
- Jest ⁸ para teste unitário e cobertura;
- AngularJS ⁹ v1.6 para o front end da aplicação ;
- MongoDB ¹⁰ para persistência;
- MQTT (3.1.1) como protocolo de comunicação entre os sensores e o Gateway;
- SMS (3.1.1) como serviço de mensageria;
- ExpressJS ¹¹ como framework web Node.js

O Node.js foi escolhido por conta de seu baixo consumo de memória e processamento, além da sua característica de Non-Blocking IO ¹⁶, garantindo que possamos servir mais clientes com menos recursos, objetivo essencial para aplicações que podem ser executadas em um Raspberry Pi por exemplo.

A escolha pelo TypeScript ¹², linguagem que é um superset do Javascript padrão foi motivada por garantir uma estrutura tipada, de forma que a manutenção do código fosse facilitada e as regras de negócio pudessem estar ligadas a um contrato de objeto.

Já o AngularJS ¹³ foi escolhido, por ser uma tecnologia que funciona com javascript nativo, sem necessidade de nenhum pós-processador para servir a aplicação aos clientes, permitindo o seu uso diretamente entre os arquivos estáticos do mesmo servidor Node.js que expõe a aplicação. Além disso, contou como um ponto para a escolha, a experiência prévia da equipe no desenvolvimento com esta tecnologia.

3.1.1 Protocolos de comunicação

SMS, abreviação de *Short Message Service*, é um serviço de troca de mensagens curtas de textos que permite o envio de mensagens para aparelhos celulares, conforme os padrões definidos no GSM (*Global System for Mobile Communications*). Seu uso é bastante popular (cerca de 3,6 bilhões de usuários) ¹⁷ e ubíquo (presente em praticamente qualquer país) ¹⁸. Além do que seu uso é fácil e barato, uma vez que o usuário receptor não requer

⁵ NodeJS - <<https://nodejs.org/en/>>

⁶ Typescript - <<http://www.typescriptlang.org/>>

⁷ TSLint - <<https://palantir.github.io/tslint/>>

⁸ Jest - <<https://facebook.github.io/jest/>>

⁹ AngularJS - <<https://angularjs.org/>>

¹⁰ MongoDB - <<https://www.mongodb.com/>>

¹¹ ExpressJS - <<http://expressjs.com/>>

¹² Typescript - <<http://www.typescriptlang.org/>>

¹³ AngularJS - <<https://angularjs.org/>>

conexão com a Internet para receber a mensagem, bastando possuir sinal com a rede de telefonia.

O MQTT, abreviação de *Message Queue Telemetry Transport*, é um protocolo de comunicação altamente voltado para IoT. Ele foi arquitetado para ser um sistema de mensageria leve do tipo publisher/subscriber, para rodar em dispositivos limitados, tanto do ponto de vista da quantidade de memória para execução do programa, quanto do ponto de vista da conectividade. Redes lentas ou com alta latência não são problemas para esse protocolo. Geralmente, sensores IoT podem residir em locais extremamente hostis do ponto de vista de infra-estrutura de conexão de dados.

3.2 Modelo de Dados

O modelo de dados foi concebido com a intenção de tornar as etapas do processo altamente plugáveis e customizáveis no curto e longo prazo, garantindo as funcionalidades básicas do MVP ¹⁴ executado e a possibilidade de extensibilidade no futuro com retrocompatibilidade.

Nesta modelagem, a entidade **Dispositivo** identifica um aparelho qualquer que se conecte ao gateway para transmitir informações, o aparelho deve definir um ID de conexão que é cadastrado nesta entidade. Com relação direta a entidade **Dispositivo**, e a entidade **Trigger** modela um gatilho clássico, composto de condição e ação. Nesta perspectiva, a condição é a entidade **Operação** que permite avaliar os valores recebidos e identificar se eles são iguais ou estão no intervalo de valor definidos por esta entidade. A entidade **Evento** por sua vez é a ação, onde é definido o que acontecerá caso a condição seja atendida, por exemplo, o envio de SMS para um destinatário com o determinado texto, ver Figura 2.

Além das entidades que servem diretamente a execução do fluxo principal da aplicação, temos 3 entidades de funções secundárias. **Configuracao** é responsável por armazenar os dados utilizados para configurar a aplicação, como a configuração das credenciais para uso do serviço de SMS. As entidades **HistoricoEvento** e **HistoricoMensagem** são responsáveis por armazenar os dados recebidos e os eventos executados.

A modelagem desenvolve uma estrutura sequencial que parte da identificação do dispositivo, análise dos gatilhos ligados a este dispositivo, avaliação da operação lógica e liberação para execução do evento, ver Figura 3.

3.3 Requisitos funcionais

Os requisitos funcionais levados em consideração nesse trabalho foram:

- Requisito 1: Envio de mensagens via SMS ¹⁷
- Requisito 2: Cadastro de número de celular.

3.4 Requisitos não funcionais

Requisitos não funcionais, como os de extensibilidade e de retrocompatibilidade, agregam muito esforço no desenho de um MVP, mas são aspectos que em hipótese alguma podem ser desconsiderados.

¹⁴ *Minimum Viable Product*, ou Produto Mínimo Viável, é um termo utilizado para caracterizar um produto com as features necessárias para os primeiros clientes ¹⁹

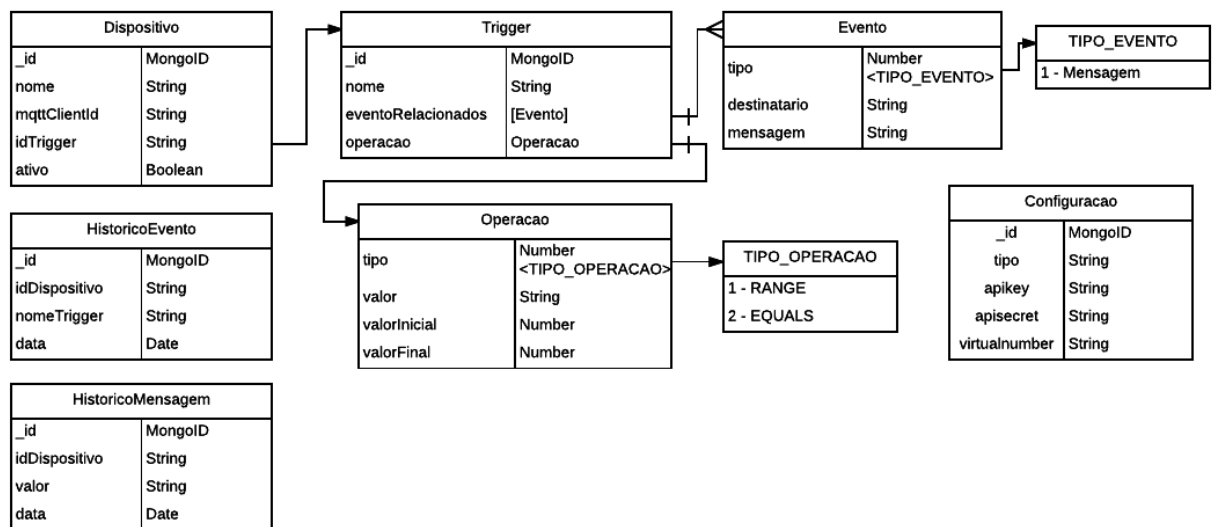


Figura 2 – Representação esquemática da modelagem de dados.

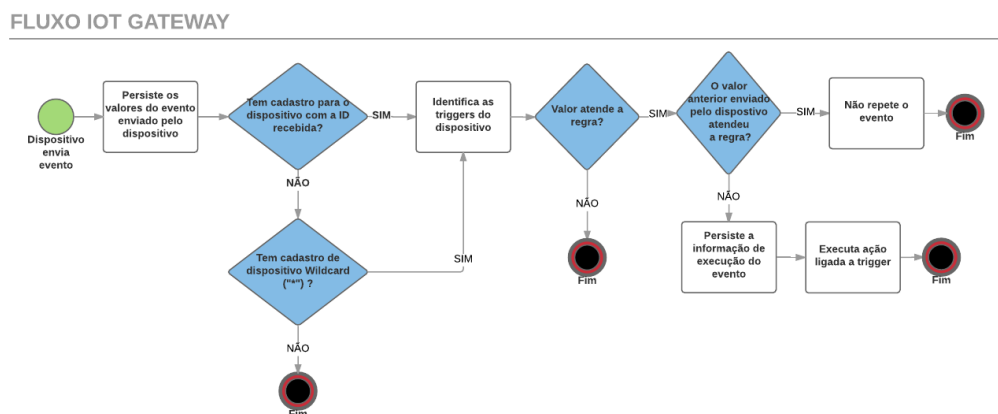


Figura 3 – Representação esquemática do fluxo Gateway IoT.

Considerações finais

Durante o desenvolvimento desse trabalho, podemos concluir que a possibilidade de soluções usando IoT é extremamente vasta e extensa. A indústria, como um todo, está aquecida e pretende absorver toda gama de demanda de eventuais serviços que envolvam esse tipo de tecnologia.

Por se tratar de um ramo da Computação que é relativamente novo (o termo foi cunhado em 1999 ⁶, somando assim apenas 18 anos de idade no momento que este trabalho foi publicado), algumas definições não possuem uma consistência desejável e costumam divergir muito de autor para autor. O que caracteriza um certo aspecto positivo, tal que ainda há muito espaço para que mais trabalhos possam ser feitos e consolidados na indústria de IoT.

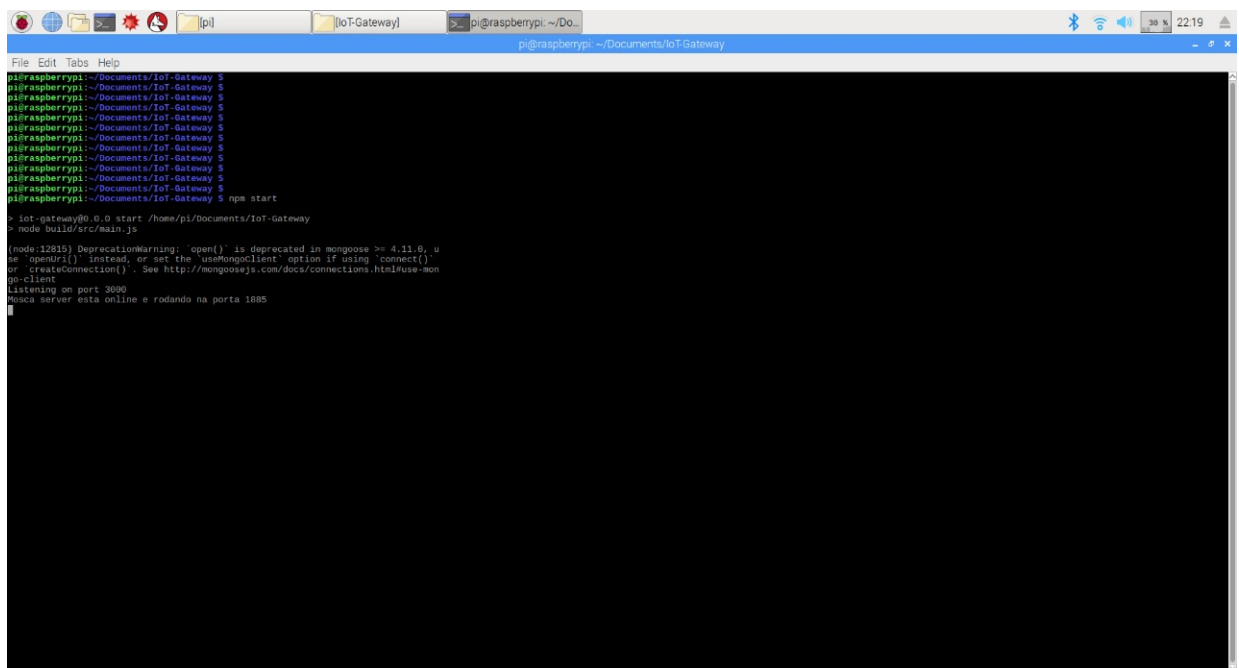
Existem tecnologias Web modernas, principalmente as baseadas em Javascript, que propiciam a construção de softwares voltado para IoT de forma fácil, produtiva, testável e manutenível.

Na elaboração desse projeto, no que tange a perspectiva da escrita do software, o maior desafio foi dos pontos de vista da elaboração arquitetural e de modelagem de dados, de forma que após as definições, a escrita do código foi relativamente simples.

3.5 Resultados

Como resultados deste trabalho, podemos destacar o fomento à discussão de soluções que tornem o desenvolvimento para IoT mais simples, removendo a necessidade de codificação de softwares para receber os eventos para cada projeto, conseguindo resultados em um menor tempo. E como principal ponto o desenvolvimento do software que atenda requisitos de um gateway, performático e portátil, abaixo demonstraremos algumas imagens do sistema funcionando.

Na Figura 4 pode-se observar a aplicação sendo inicializada em um Raspberry Pi 3 Model B v1.2 (ver Figura 5), onde a porta TCP 3000 escutará as requisições Web e a porta TCP 1885 onde os dispositivos se conectarão pelo protocolo MQTT.



```
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi: ~/Documents/IoT-Gateway
pi@raspberrypi:~/Documents/IoT-Gateway$
pi@raspberrypi:~/Documents/IoT-Gateway$
pi@raspberrypi:~/Documents/IoT-Gateway$
pi@raspberrypi:~/Documents/IoT-Gateway$
pi@raspberrypi:~/Documents/IoT-Gateway$
pi@raspberrypi:~/Documents/IoT-Gateway$
pi@raspberrypi:~/Documents/IoT-Gateway$
pi@raspberrypi:~/Documents/IoT-Gateway$
pi@raspberrypi:~/Documents/IoT-Gateway$ npm start
> iot-gateway@0.0.0 start /home/pi/Documents/IoT-Gateway
> node build/src/main.js
(node:12815) DeprecationWarning: 'open()' is deprecated in mongoose >= 4.11.0, use
  'openUri()' instead, or set the 'useMongoClient' option if using 'connect()'
or 'createConnection()' . See http://mongoosejs.com/docs/connections.html#use-mon
go-client
Listening on port 3000
MQTT server esta online e rodando na porta 1885
```

Figura 4 – Representação execução aplicação.

Na Figura 6 temos a tela inicial da aplicação com algumas informações a respeito da aplicação.

Na Figura 7 vemos o cadastro de uma *trigger* com operação lógica de intervalo, onde o evento será executado apenas caso o valor enviado pelo dispositivo esteja entre 1 e 10. Um cenário claro de uso desta funcionalidade seria o uso do gateway para enviar notificações caso um sensor leia informações de um cenário crítico.

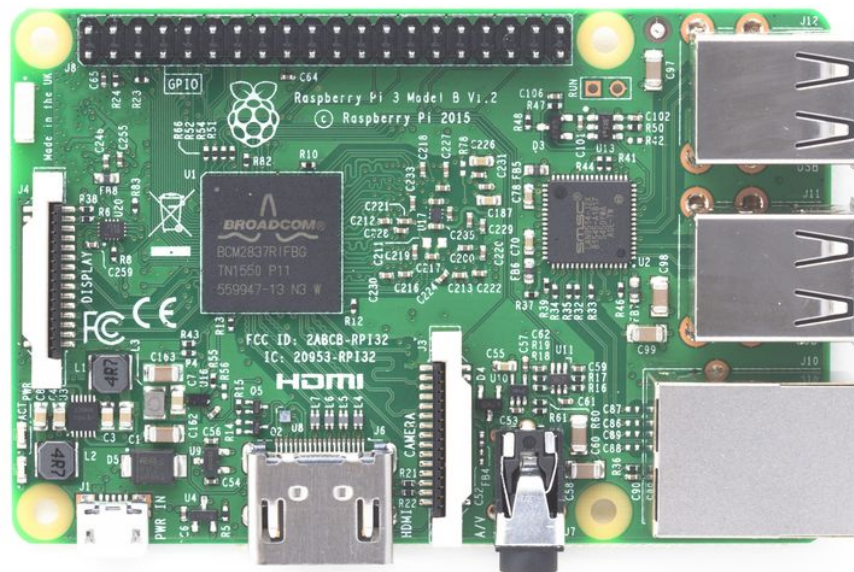


Figura 5 – Exemplar do *Raspberry Pi 3 Model B v1.2*, o SoC utilizado nesse trabalho

Na Figura 8 temos a listagem de dispositivos cadastrados, onde o dispositivo de nome "Celular com MyMqtt" está cadastrado, mas sua identificar é "*" que permite que qualquer dispositivo seja identificado por este cadastrado.

Na Figura 9 temos um dispositivo android conectado ao gateway utilizando MQTT e enviando eventos para análise.

Na Figura 10 visualizamos o log da aplicação de 2 eventos, um em que o cenário não foi atendido, e outro em seguida onde o mesmo foi atendido e enviou o SMS.

Na Figura 11 o SMS recebido pelo celular após o evento atendido.

Todos os eventos atendidos e dados recebidos são armazenados no banco de dados da aplicação para consulta posterior.

3.6 Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, destacamos um suporte a mais protocolos de comunicação com dispositivos e outras funções existentes em outros gateways, como a transmissão posterior das informações armazenadas para a cloud e suporte a novos eventos como, envio de email, ligações e até envio de informações para outros dispositivos, assim tornando o gateway como um dispositivo não só passivo, mas como atuante na rede em que eles está inserido.



Figura 6 – Representação visual da tela dos dados básicos.

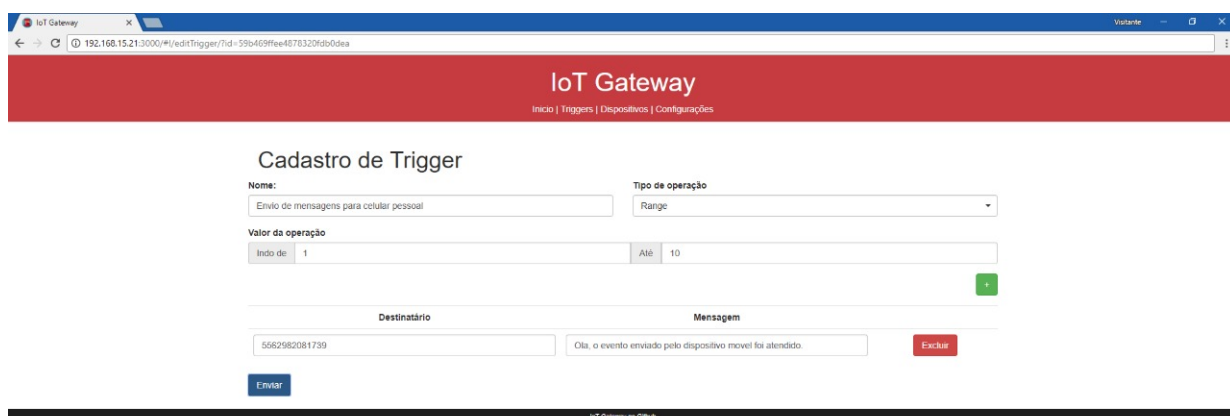


Figura 7 – Representação visual da tela de cadastro de trigger.

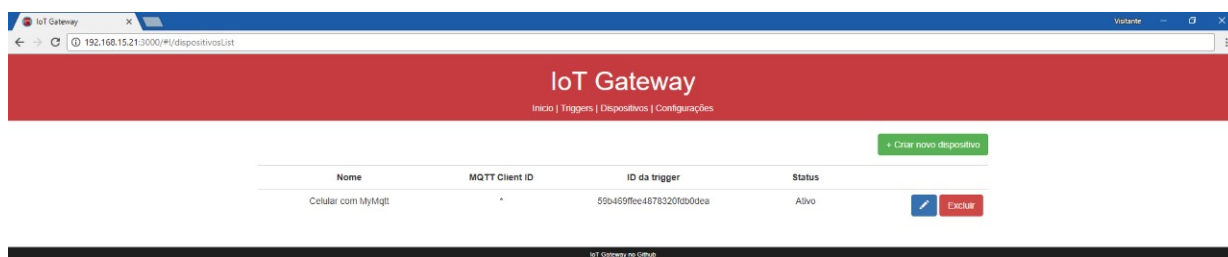


Figura 8 – Representação visual da tela de cadastro de dispositivos.

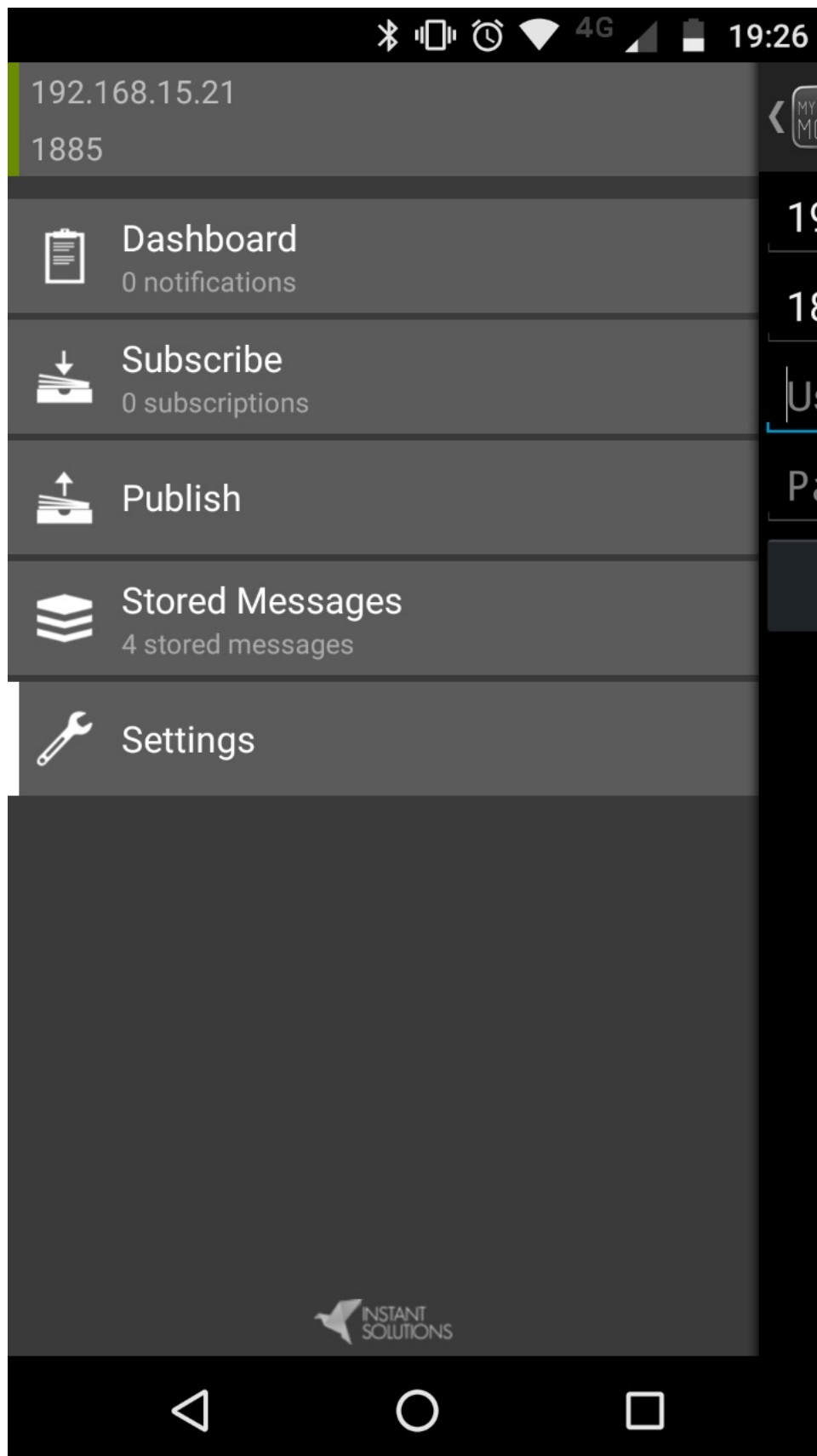
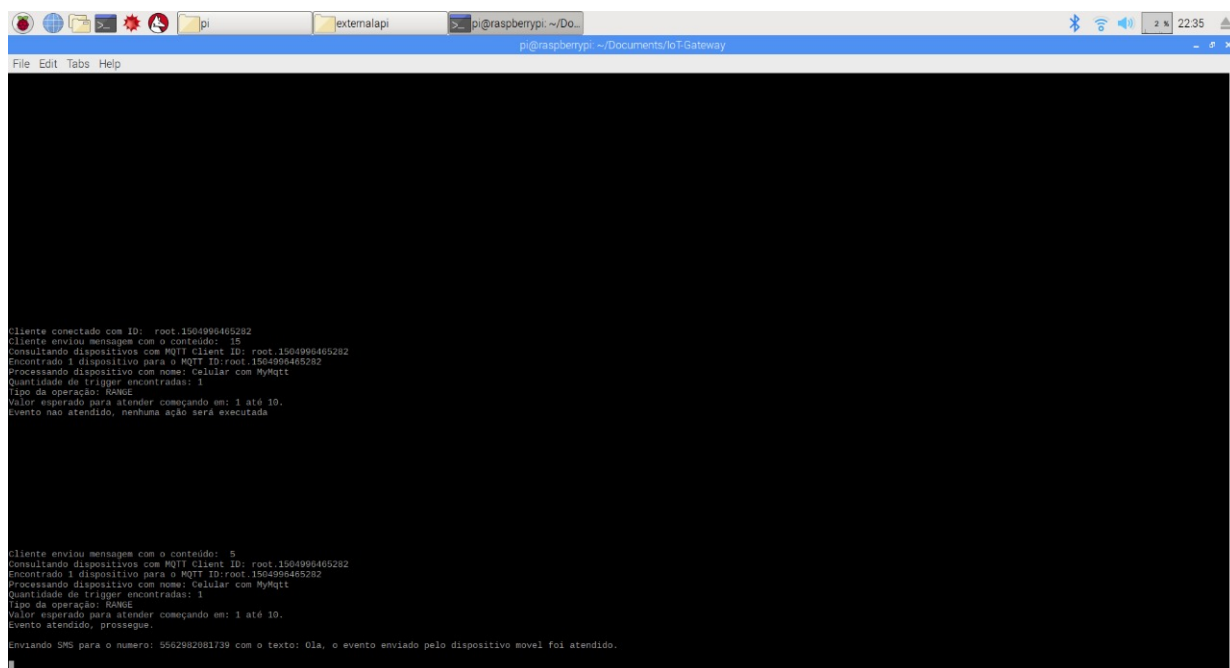


Figura 9 – Representação visual do dispositivo Android utilizando protocolo MQTT.



The image shows a terminal window on a Raspberry Pi. The window title is 'pi@raspberrypi: ~/Documents/IoT-Gateway'. The terminal output displays a sequence of MQTT events. The first event shows a client connecting with ID 'root.1504996465282' and sending a message with content '15'. This is followed by a search for devices with the same MQTT ID, finding one named 'Celular com MyMqtt'. The event type is 'RANGE', and the expected value for the trigger is '1'. The second event shows a client sending a message with content '5', followed by a similar search and processing of a device named 'Celular com MyMqtt'. The event type is 'RANGE', and the expected value for the trigger is '1'. The final line of the log indicates that an SMS was sent to the number '5562982081739' with the text 'Ola, o evento enviado pelo dispositivo movel foi atendido.'

```
Cliente conectado com ID: root.1504996465282
Cliente enviou mensagem com o conteúdo: 15
Consultando dispositivos com MQTT Client ID: root.1504996465282
Encontrado 1 dispositivo para o MQTT ID:root.1504996465282
Processando dispositivo com nome: Celular com MyMqtt
Quantidade de trigger encontradas: 1
Tipo da operação: RANGE
Valor esperado para atender começando em: 1 até 10.
Evento não atendido, nenhuma ação será executada.

Cliente enviou mensagem com o conteúdo: 5
Consultando dispositivos com MQTT Client ID: root.1504996465282
Encontrado 1 dispositivo para o MQTT ID:root.1504996465282
Processando dispositivo com nome: Celular com MyMqtt
Quantidade de trigger encontradas: 1
Tipo da operação: RANGE
Valor esperado para atender começando em: 1 até 10.
Evento atendido, prossigue.
Enviando SMS para o numero: 5562982081739 com o texto: Ola, o evento enviado pelo dispositivo movel foi atendido.
```

Figura 10 – Representação visual do console ao receber eventos.

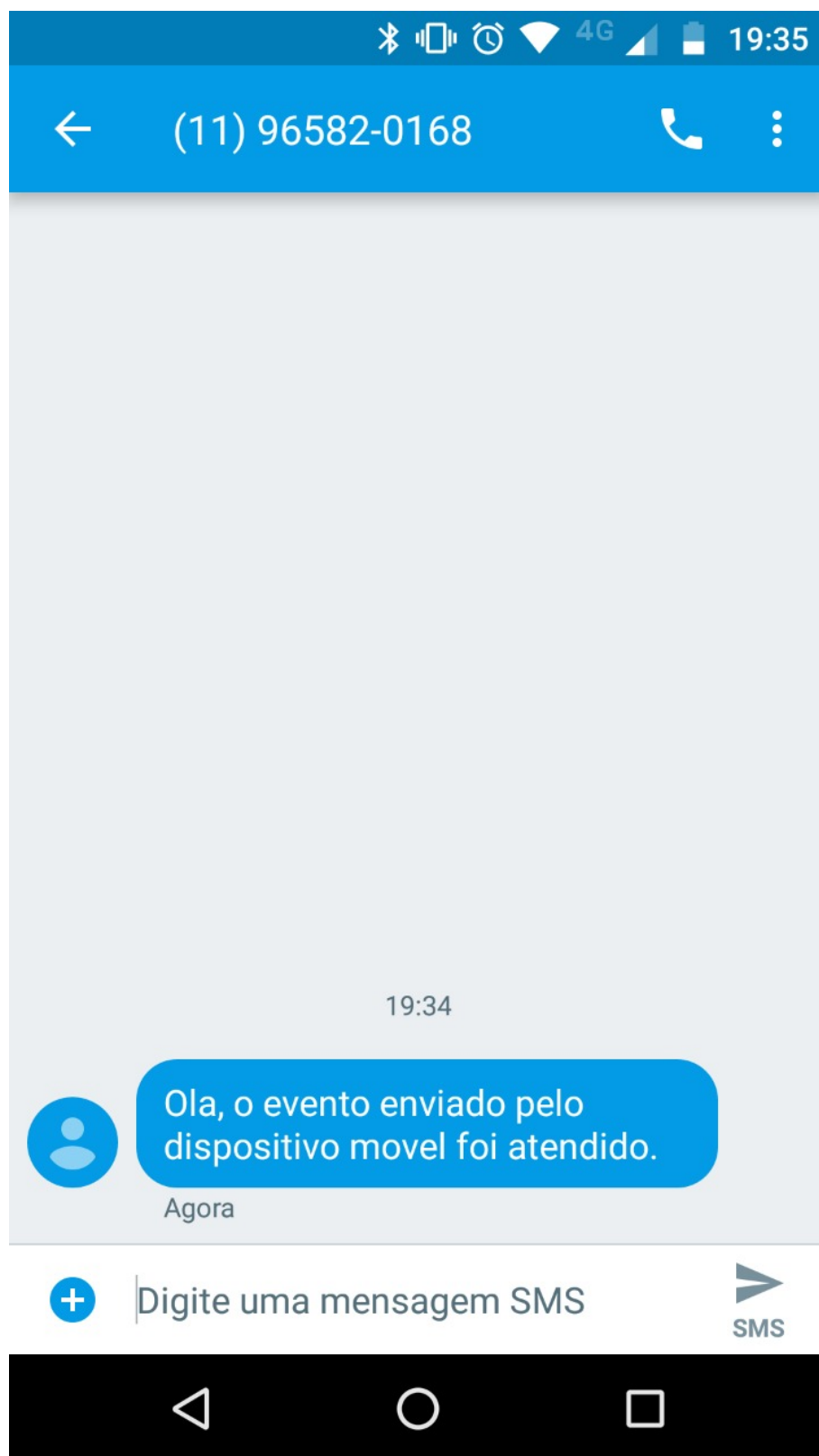


Figura 11 – Representação visual do SMS recebido.

Referências

- 1 ANDRIOLLI, A. *Gateways serão fundamentais para segurança em projetos de IoT*. [S.l.]: ComputerWorld. [Http://computerworld.com.br/gateways-serao-fundamentais-para-seguranca-em-projetos-de-iot](http://computerworld.com.br/gateways-serao-fundamentais-para-seguranca-em-projetos-de-iot). Citado na página 2.
- 2 BCG Perspectives, The Boston Consulting Group. *Winning in IoT: It's All About the Business Processes*. Citado na página 2.
- 3 Forbes. *Internet Of Things Market To Reach \$267B By 2020*. [Https://www.forbes.com/sites/louiscolumnbus/2017/01/29/internet-of-things-market-to-reach-267b-by-2020](https://www.forbes.com/sites/louiscolumnbus/2017/01/29/internet-of-things-market-to-reach-267b-by-2020). Citado na página 2.
- 4 Warren Kuris. *Designing customised intelligent IoT gateway*. [S.l.]: EET Asia. http://archive.eetasia.com/www.eetasia.com/ART_8800719530_590626_TA_8734b523.HTM. Citado na página 2.
- 5 Brasil Escola. *INTERNET*. [S.l.]: Monografias Brasil Escola. Citado na página 2.
- 6 ASHTON, K. That "Internet of Things" Thing. *RFiD Journal*, v. 22, p. 97–114, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 7.
- 7 Amazon Web Services. *Internet das Coisas*. [S.l.]: Amazon Web Services, Inc. Citado na página 2.
- 8 Ahmed Banafa. *Three Major Challenges Facing IoT*. [S.l.]: IEEE. Citado na página 3.
- 9 David Roe. *7 Big Problems with the Internet of Things*. [S.l.]: CMS WiRE. Citado na página 3.
- 10 CHEN, H.; JIA, X.; LI, H. A brief introduction to IoT gateway. In: *Communication Technology and Application (ICCTA 2011), IET International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2011. Citado na página 3.
- 11 ROUSE, M. *WhatIs.com: IoT Gateway*,. 2017. Citado na página 3.
- 12 KONSEK, H. *The Architecture of IoT Gateways*. [S.l.]: DZone, 2015. [Https://dzone.com/articles/iot-gateways-and-architecture](https://dzone.com/articles/iot-gateways-and-architecture). Citado na página 4.
- 13 CIO. *Fog Computing é o novo paradigma para a Internet das Coisas, diz Cisco*. [S.l.]: CIO From IDG. Citado na página 4.
- 14 Raspberry Pi Foundation. *Raspberry Pi*. [Https://www.raspberrypi.org/](https://www.raspberrypi.org/). Citado na página 4.
- 15 RS Online. *UK RS Online - Raspberry Pi 3 Model B SBC*. [Http://uk.rs-online.com/web/p/processor-microcontroller-development-kits/8968660/](http://uk.rs-online.com/web/p/processor-microcontroller-development-kits/8968660/). Citado na página 4.
- 16 Node.js Foundation. *Node.js - Overview of Blocking vs Non-Blocking*. [Https://nodejs.org/en/docs/guides/blocking-vs-non-blocking/](https://nodejs.org/en/docs/guides/blocking-vs-non-blocking/). Citado na página 5.

17 Tomi T Ahonen. *Time to Confirm some Mobile User Numbers: SMS, MMS, Mobile Internet, M-News*. 2011. <http://communities-dominate.blogs.com/brands/2011/01/time-to-confirm-some-mobile-user-numbers-sms-mms-mobile-internet-m-news.html>. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 6.

18 International Telecommunications Union. [S.l.]: International Telecommunications Union, 2015. <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/ICTFactsFigures2015.pdf>. Citado na página 5.

19 Eric Ries. *Venture Hacks interview: "What is the minimum viable product?"*. 2009. <http://www.startuplessonslearned.com/2009/03/minimum-viable-product.html>. Citado na página 6.