



Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Instituto Metrópole Digital

*SmartMetropolis* – Plataformas e Aplica es para Cidades Inteligentes

WP3 – Sensoriamento

**Entregável 01**

Natal-RN, Brasil  
Maio de 2016



## **Equipe Técnica**

### *Docentes*

Prof. Dr. Ivanovitch Medeiros Dantas da Silva (Coordenador) – Instituto Metrópole Digital

Prof. Dr. Allan de Medeiros Martins - Departamento de Engenharia Elétrica

Prof. MSc Antonio Wallace Antunes Soares - Instituto Metrópole Digital

Prof. MSc Eduardo Nogueira Cunha - Instituto Metrópole Digital

Prof. Dr. Gustavo Girão Barreto da Silva - Instituto Metrópole Digital

Prof. Dr. Julio Cesar Paulino de Melo - Instituto Metrópole Digital

Prof. MSc Wellington Silva de Souza - Instituto Metrópole Digital

### *Discentes*

Ciro Martins Pinto

Danilo Mikael Costa Barros

Leonardo Augusto de Aquino Marques

Juliette de Paula Felipe de Oliveira

Sillas Samyr Silveira de Moura

## **Conteúdo**

### **1 Introdução**

#### **1.1 Descrição do Grupo de Trabalho**

#### **1.2 Objetivos e Justificativa**

### **2 Monitoramento de Água e Energia**

#### **2.1 Placa Integradora de Sensores**

##### **2.1.1 Discussão inicial**

##### **2.1.2 Procedimentos**

##### **2.1.3 Protocolos de comunicação**

#### **2.3 Módulo sensor**

##### **2.3.1 Sensores de Corrente**

##### **2.3.2 Sensor de Tensão**

##### **2.3.3 Etapas futuras**

#### **2.4 Comissionamento da plataforma**

##### **2.4.1 Etapas de desenvolvimento da aplicação**

##### **2.4.2 Funcionamento da aplicação**

### **3 Considerações Finais**

### **Referências**

# 1 Introdução

## 1.1 Descrição do Grupo de Trabalho

O grupo de trabalho WP-03, nomeado de Sensoriamento, surgiu com a necessidade de desenvolver soluções de hardware e software embarcados para as chamadas Cidades Inteligentes. O grupo de pesquisadores possui experiência na área de sistemas embarcados, controle de processos, prototipagem, redes industriais, processamento de sinais e imagens e segurança da informação.

A partir dos produtos desenvolvidos pelo grupo novas aplicações estarão aptas a serem desenvolvidas. De uma forma geral, as seguintes soluções serão implementadas pelo respectivo grupo de trabalho:

1. Monitoramento de água e energia
2. Pegada de carbono
3. Estacionamento inteligente
4. Segurança pública

Em termos de cronograma, a Figura 1 descreve uma visão geral das ações a serem desenvolvidas.

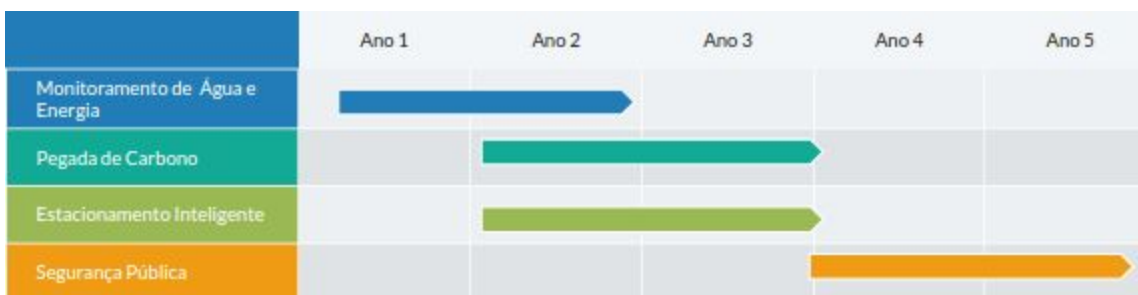


Figura 1. Cronograma das ações a serem desenvolvidas.

## 1.2 Objetivos e Justificativa

Conforme descrito na Figura 1, o primeiro ano de ação do grupo será focado no desenvolvimento da iniciativa de Monitoramento de Água e Energia. Nomeadamente, o documento relacionado ao Entregável 01 irá descrever uma visão geral dessa iniciativa, contendo propostas de entidades que irão compor o hardware e software embarcado. Aspectos referentes à aplicação do historiador de dados será relatada no relatório referente ao WP 2 (a referida ação está sendo desenvolvida pelo pesquisador Danilo Mikael Costa Barros).

A iniciativa de Monitoramento de Água e Energia surgiu de uma necessidade do campus universitário em monitorar os gastos desses recursos nos diversos prédios que compõem a UFRN. Os gastos com energia da UFRN no ano de 2015 foi superior a 15 milhões de reais. Diagnosticar e compreender onde estão os principais gargalos da instituição é um passo fundamental para colocar em prática uma gestão proativa. Conseqüentemente, diminuindo as perdas e a conta com os gastos de energia. Sem perda de generalidade, quando mencionamos energia estamos mencionando água e luz. O desenvolvimento de um hardware e software embarcado voltado para esse nicho de aplicação irá trazer uma contribuição direta para a UFRN. Essa iniciativa é factível de ser escalada para as cidades, haja vista que o campus é visitado por mais de 60.000 pessoas por dia (número comparado grandes cidades do interior do RN, como Caicó e Currais Novos). Uma visão geral da iniciativa para o Monitoramento de Água e Energia é descrito na Figura 1.2. Perceba que existem claramente duas grandes ações: o desenvolvimento do hardware embarcado e do software de visualização de dados.



Figura 1.2. Visão geral da iniciativa de Monitoramento de Água e Energia.

## 2 Monitoramento de Água e Energia

Uma visão geral da iniciativa de Monitoramento de Água e Energia foi descrita na Figura 2. Nessa seção será explicado em mais detalhes as ações que serão desenvolvidas. As seguintes linhas de desenvolvimento serão abordadas:

- Placa integradora de sensores
  - Gerenciador de sensores
  - Gerenciador de comunicação
- Módulo sensor

- Ferramenta de comissionamento

## 2.1 Placa Integradora de Sensores

A Placa Integradora de Sensores (PIS) será responsável pelo controle, gerenciamento e transmissão segura dos dados entre os diversos sensores a ela conectados, sejam eles de energia, vazão de água, temperatura, ou qualquer outro tipo que seja necessário.

A PIS (Figura 2.1) é composta por dois módulos principais, um Gerenciador de Sensores (GS) (a ser desenvolvido pela pesquisadora Juliette de Paula Felipe de Oliveira) e um Gerenciador de Comunicação (GC) (a ser desenvolvido pelo pesquisador Sillas Samyr Silveira de Moura). O GS irá realizar o controle, aquisição e armazenamento dos dados provenientes dos diversos sensores de monitoramento. Por outro lado, o GC será encarregado de organizar e enviar os dados para uma aplicação (na nuvem) utilizando GPRS (outros meios podem ser utilizados, como por exemplo o WIFI), assim como receber instruções de comissionamento.

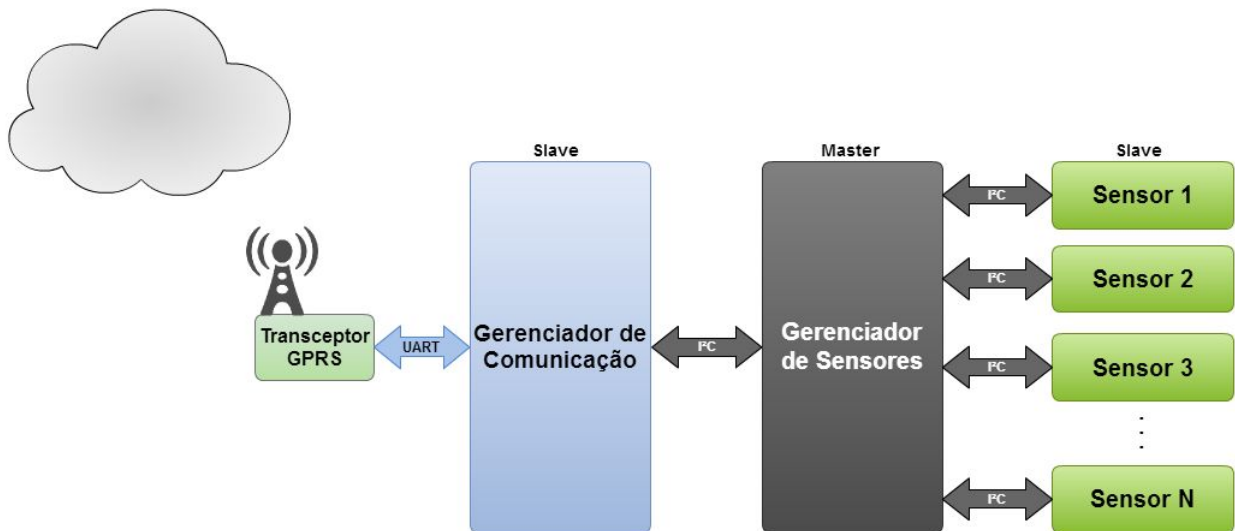


Figura 2.1. Placa Integradora de Sensores.

### 2.1.1 Discussão inicial

Devido a natureza do projeto, os módulos principais descritos acima poderiam ser implementados de diversas maneiras, algumas possíveis seriam:

1. Módulos GS e GC implementados em hardwares separados (utilizando dois microcontroladores, por exemplo);
2. Módulos implementados em um mesmo hardware e software;
3. Módulos implementados em um mesmo hardware porém, utilizando softwares separados.

A proposta 1 teria a vantagem de ser modular, mais econômica e barata, possibilitando a troca e atualização dos módulos individuais. A proposta 2 exigiria um hardware um pouco mais robusto para comportar as diversas funções em um mesmo software, neste caso, não teríamos acesso aos módulos individuais já que tanto GS quanto GC estariam entrelaçados em um único software, dificultando futuras manutenções e aumentando as chances de ocorrerem problemas. A proposta 3 foi levantada por causa das últimas novidades na área de sistemas embarcados como por exemplo o Intel Edison ou o Raspberry Pi Zero, ambos com Linux embarcado e já com comunicação WIFI e Bluetooth integrados, o que facilitaria o desenvolvimento, porém, há a desvantagem de ser mais caro do que simples microcontroladores e a possibilidade de maior consumo de energia. Analisando as vantagens e desvantagens de cada um, e por recomendação do professor Júlio de Cesar Paulino de Melo, deu-se prioridade a 1 deixando 3 para possíveis discussões futuras.

Também foi discutida a utilização de armazenamento dos dados brutos em cartão de memória, como um *log* diário, semanal ou mensal, dependendo da quantidade de dados e da capacidade do cartão empregado. Dessa forma, se houver perda de comunicação com a nuvem por qualquer motivo, não se perderiam os dados referentes àquele período. Outra aplicação seria a consulta a estes dados utilizando um smartphone ou qualquer outro aparelho que se conecte via bluetooth. O objetivo, nesse caso, seria a simples inspeção ou comparação com os dados enviados à nuvem, obviamente, seria necessária a utilização de um módulo bluetooth se a plataforma escolhida já não o tiver integrado.

### **2.1.2 Procedimentos**

Descreveremos aqui os procedimentos que cada módulo adotará para a sua correta operação. Tais procedimentos podem ser alterados ou melhorados futuramente quando se iniciarem as primeiras montagens dos protótipos e verificadas as dificuldades e problemas em ambiente real.

Em resumo, a operação dos módulos pode ser listada da seguinte maneira:

1. O GS irá varrer os sensores conectados a cada período de tempo a ser discutido, que pode variar de poucos milissegundos a alguns minutos.
2. Se os valores forem diferentes dos anteriores então envia para o GC, caso contrario, não faz nada para economizar de energia. O GS deverá armazenar os dados brutos em um cartão de memória (*log*) e o último valor de cada sensor para comparação, o armazenamento do último valor de cada sensor pode ser feito tanto em memória volátil quanto em memória permanente (alguns microcontroladores possuem integrado um



módulo de memória EEPROM - *Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory* - que pode ser utilizado para este fim).

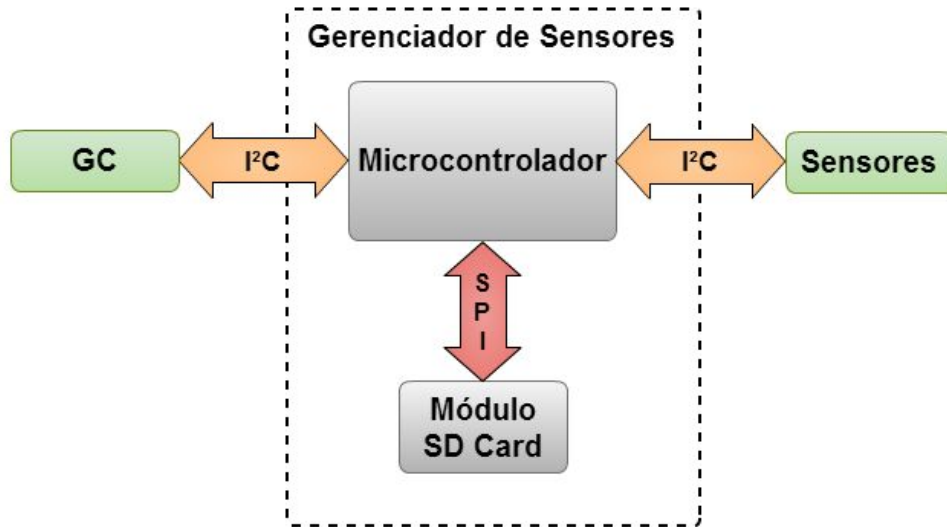


Figura 2.2. Gerenciador de Sensores

3. O GC irá então organizar os dados recebidos do GS e enviar para a nuvem para posterior utilização e armazenamento.

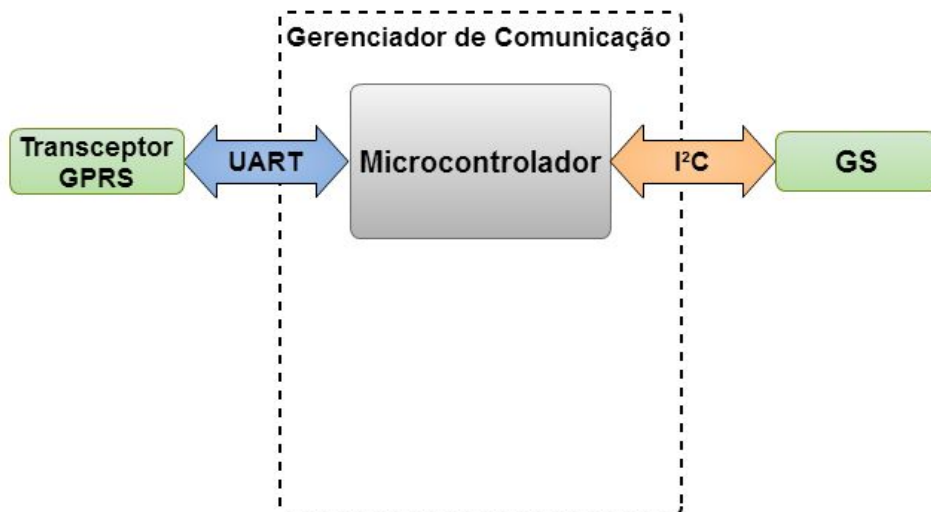


Figura 2.3. Gerenciador de Comunicação

### 2.1.3 Protocolos de comunicação

A comunicação com a aplicação na nuvem será feita por conexão GPRS, utilizando o módulo GSM/GPRS sim800L, com bluetooth e receptor de rádio FM integrados (porém sem os conectores físicos) (Figura 2.4). Nesta primeira etapa do projeto, está se fazendo testes para se familiarizar com o módulo e entender o seu funcionamento assim como escolher a melhor maneira de organizar os dados para transmissão e facilitar a posterior recepção e utilização dos dados.



Figura 2.4. Módulo GSM/GPRS sim800L, com bluetooth e receptor de rádio FM integrados

Algumas características técnicas relevantes do módulo Sim800L:

- Quad-Band 850/900/1800 / 1900MHz
- Comunicação Serial e controle utilizando comandos AT
- Opera a 3,4 ~ 4,3V com uma corrente de pico de 2A e 700uA em modo sleep
- Suporta A-GPS para obter o posicionamento utilizando a rede de telefonia móvel

A comunicação do sim800L com o GC será feita via comunicação Serial utilizando comandos AT, e no período em que não houver comunicação, o Sim800L será posto em modo de economia de energia. Entre os demais módulos, com exceção do módulo do cartão de memória que trabalha com a interface SPI - Serial Peripheral Interface, será utilizado o I2C - Inter-Integrated Circuit, sendo o GS configurado como mestre. A sequência de transmissão inter-módulos ainda está sendo discutida para se conseguir o melhor desempenho e menor consumo de energia, mas a seguir, apresentamos um modelo aproximado de como será a aplicação final.

Para cada sensor conectado ao GS, será feito:

- Ler o primeiro sensor;
- Verifica na memória se os dados armazenados divergem do valor da leitura atual;
- Se os valores divergirem, pergunta-se ao GC se está pronto para receber dados.
  - O GC pode estar ocupado com uma operação anterior e não estar pronto para receber novos dados, então, antes de se estabelecer uma comunicação

pelo barramento I2C, deve-se primeiro perguntar se o GC está escutando o barramento como escravo. Esta pergunta pode ser feita setando um pino do GS como saída e enviando um pulso. Em seguida, altera o pino para modo entrada e aguarda um pulso do GC. No lado do GC, o pino estará inicialmente como entrada (escuta). Se estiver disponível para receber dados, ele “enxergará” o pulso do GS. Então, o pino será posto como saída e responderá com um outro pulso. Neste momento a comunicação pelo barramento I2C começa. Caso o GC não responda em um intervalo de tempo, um novo pulso é enviado e o processo se repete até que haja resposta. Caso não haja resposta depois de algum tempo, pode-se acionar um LED para indicar algum erro no GC.

- Os dados são enviados para o GC e atualiza-se o valor salvo na memória. A seguir, ocorre a leitura do próximo sensor e o processo se repete;
- Ao finalizar todos os sensores, o fim da transmissão é sinalizado e o módulo entra em modo de economia de energia por um período de tempo.

O GS enviará os dados para o GC byte a byte, cuja configuração será a seguinte:

- 1 byte para identificação do sensor, 1 byte para informar o tipo de dado que será enviado, n bytes de dados do sensor. Isso configura um bloco que será armazenado em um arquivo de texto comum no cartão de memória.
- Os dados recebidos são organizados e enviados para a nuvem utilizando o módulo Sim800L.
- Será transmitido um bloco de dados para cada sensor.
- Ao final, será enviado um byte (ou sequencia de bytes) para indicar o fim da transmissão. então, o GC entra em estado de baixo consumo de energia e aguarda um pulso do GS para uma nova transmissão.

## 2.3 Módulo sensor

Conforme explicitado anteriormente, neste primeiro ano a ação do grupo será focada no desenvolvimento da iniciativa de Monitoramento de Água e Energia. O hardware necessário para tal aplicação necessitará de velocidade de processamento, comunicação de fácil interpretação por outros microcontroladores, escalabilidade para interligação com outros módulos, precisão nos dados de leitura e custo reduzido.

Com o objetivo de atender tais requisitos e realizar a leitura completa de gasto e qualidade energética, será necessário a verificação dos seguintes dados: tensão eficaz ( $V_{rms}$ ), corrente eficaz ( $I_{rms}$ ), tensão de pico ( $V_{peak}$ ), corrente de pico ( $I_{peak}$ ), frequência, energia ativa, energia aparente e energia reativa. Nesse primeiro momento, foram estudadas várias arquiteturas de sensores e módulos de análise e condicionamento de energia. A princípio, os hardwares

estudados são aptos a utilizar sensores de corrente, tensão e circuitos de detecção por passagem em zero (determinar frequência da rede). Essa iniciativa está sendo desenvolvida pelo pesquisador Leonardo Augusto de Aquino Marques

### ***2.3.1 Sensores de Corrente***

Inicialmente, foi analisado o sensor de corrente baseado no chip ACS712 (Figura 2.5). Sua escolha foi baseada na popularidade e por ser de fácil aquisição no mercado. Todavia, para a aplicação proposta, o respectivo sensor apresentou falhas desagradáveis. Uma característica imediata é que o mesmo é invasivo. Outro ponto negativo é a precisão, que em alguns casos pode alcançar 10% do valor original. A faixa de leitura de corrente é também relativamente curta (0-30A), considerando para demais aplicações, como residências e indústrias.



Figura 2.5. Sensor de corrente ACS712

O segundo sensor analisado foi o SCT-013, como pode ser visualizado na Figura 2.6. Este é um sensor de corrente não invasivo, em outras palavras, para medir a corrente, não é necessário efetuar alteração no circuito a ser estudado. O funcionamento do sensor é simples, basta abrir o envólucro, envolver o fio e realizar a medição. Ele apresenta melhores resultados se comparado ao sensor ACS712. Possui uma faixa de leitura de corrente, dependendo do seu modelo, entre 0-100A. Adicionalmente, o sensor SCT-013 apresenta uma precisão adequada ao problema visado. Como ponto negativo, o fio a qual será realizado a medição necessita estar bem preso dentro do sensor para não haver variações dos valores lidos.



Figura 2.6. Sensor de corrente SCT-013

### 2.3.2 Sensor de Tensão

O primeiro sensor de tensão analisado foi aquele cujo componente principal é baseado no optoacoplador TIL116 (Figura 2.7). Este circuito não apresenta valores de precisão altos devido os próprios componentes que ele é constituído. Adicionalmente, no momento da escrita do código o valor recebido ainda deve ser multiplicado por uma constante. Na teoria não seria problema, pois inicialmente poderia ser feito a calibragem, porém, tais valores mudam de 110v para 220v, apresentando erros de aproximadamente 8%. Esse erro é aceitável para medições de tensão, corrente e potência ativa, entretanto para leituras mais complexas, como por exemplo a potência reativa e aparente, fator de potência,  $V_{pico}$  e  $V_{rms}$  a distorção é não desejável.



Figura 2.7. Sensor de tensão com o TIL116

Face os desafios apresentados anteriormente, foi pesquisado uma solução complementar ao optoacoplador TIL 116 com o intuito de garantir uma melhor precisão de leitura. Os chips ADE7753 e ADE7758 foram selecionados. O primeiro realizada a leitura de circuitos monofásicos enquanto que o segundo é utilizado em leituras trifásicas. Nesse primeiro momento, será enfatizado o ADE7753 (Figura 2.8). Esse chip possuem comunicação SPI, uma saída em onda quadrada com frequência programável e variável com o valor da potencia que está medindo, além de permitir calibrações de ganho e offset. O chip incorpora 2 ADC's  $\Sigma$ -O (sigma-delta) de segunda ordem com uma resolução de 16 bits, um integrador digital no ADC de corrente e todo o processamento de sinal necessário para o cálculo da energia.



Figura 2.8.. Chip ADE7753

Ressaltamos que para utilização do chip ADE7753 na configuração de leitura de corrente, deve ser adotado o sensor de corrente SCT-013. Por outro lado, para a medição de tensão é necessário apenas um transformador ou divisor de tensão simples com resistores. Em especial, foi configurado um transformador apenas por questões de segurança, como pode ser descrito no circuito de condicionamento (Figura 2.9).

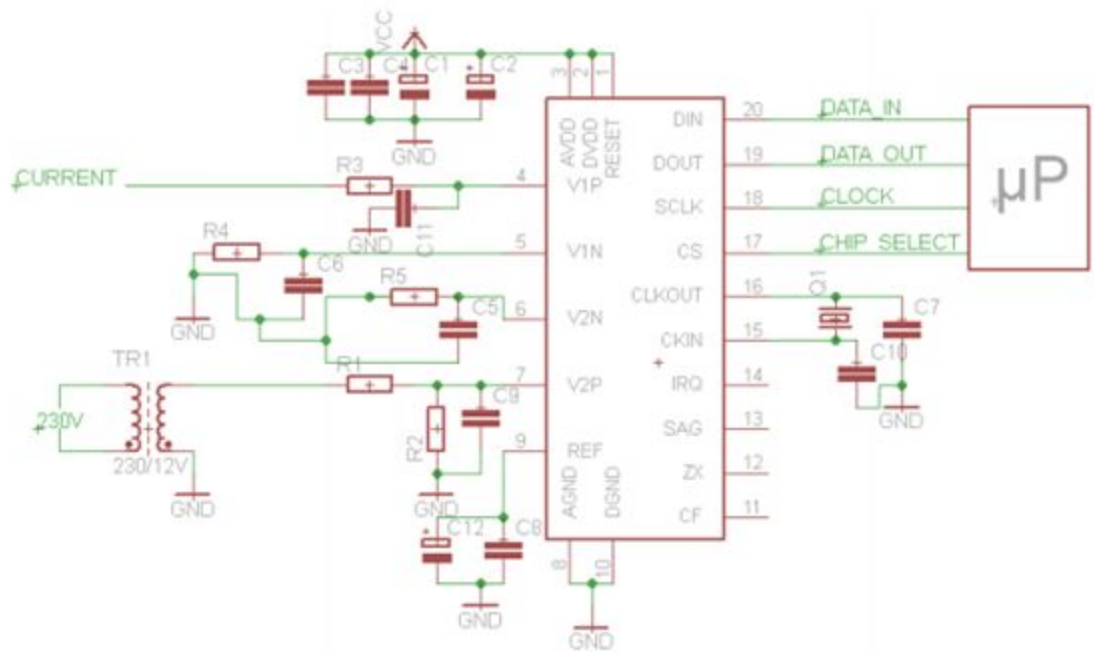


Figura 2.9. Circuito de condicionamento para o ADE7753

### 2.3.3 Etapas futuras

Após análise e validação das ideias iniciais, testes e simulações, podemos concluir que a melhor opção para ser implementada como medição de energia é a do chip ADE7753/ADE7758 em conjunto com o sensor SCT-013. Apesar de existir pouco material disponível e não ter uma biblioteca de aplicação totalmente concluída, o mesmo obteve um grau de precisão muito elevado, sendo necessário apenas o circuito de condicionamento mostrado acima e algumas calibrações.

A próxima etapa será focado nos testes e validação da implementação do ADE7753. Para isto, será utilizado um medidor baseado no ADE7753 chamado de *Energy Shield* (Figura 2.10). As principais características são as medições dos parâmetros (tensão, corrente RMS e pico, frequência, potência ativa, reativa e aparente). Após essa nova etapa de testes, será analisado o envio da leitura para outro microcontrolador, o qual irá armazenar e tratar os dados.



Figura 2.10. Energy shield baseado no ADE7753

Concluída a próxima fase de execução do projeto, poderá ser prototipado o circuito de módulo sensor. A Figura 2.11 exemplifica em diagrama de blocos a proposta do módulo sensor a ser prototipado.

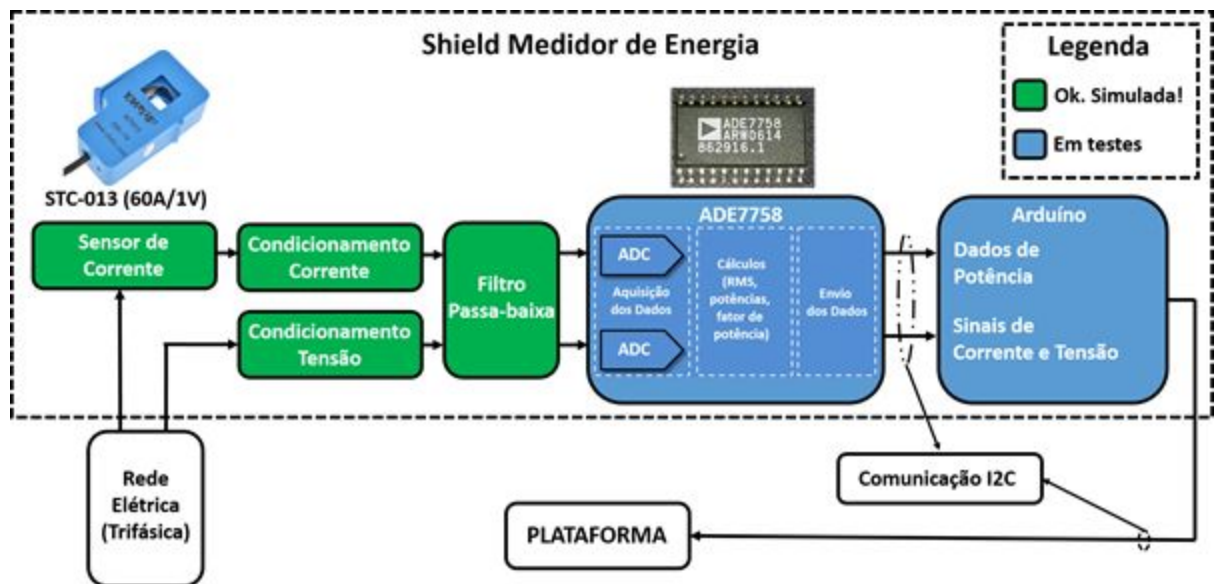


Figura 2.11. Diagrama de blocos para módulo sensor de energia a ser desenvolvido.



## **2.4 Comissionamento da plataforma**

Em paralelo ao desenvolvimento da plataforma de hardware, está sendo implementado o software que irá comissionar os seus registradores, permitindo o correto funcionamento do hardware. O software está sendo desenvolvido em Android. Essa iniciativa está sendo desenvolvida pelo pesquisador *Ciro Martins Pinto*. Adicionalmente, o referido pesquisador está também participando de fases de testes no WP 2 relacionado com o historiador de dados.

O aplicativo conta com diversas funções que serão mais detalhadas a seguir.

### ***2.4.1 Etapas de desenvolvimento da aplicação***

- Primeiro será desenvolvido um aplicativo capaz de enviar e receber pacotes via protocolo de comunicação 802.15.1 (bluetooth)
- Uma vez que a aplicação seja capaz de se comunicar via bluetooth, será implementada funções em hardware de prototipagem, onde usaremos um Arduíno para simular a plataforma.
- Execução de testes de comunicação entre a aplicação e o arduíno que simula a plataforma.
- Configuração das funcionalidades finais da plataforma no aplicativo
- Execução de testes em ambiente real.

### ***2.4.2 Funcionamento da aplicação***

- O aplicativo se comunica com a plataforma via o protocolo de comunicação 802.15.1 (bluetooth), sendo capaz de enviar e receber informações do hardware desenvolvido.
- A Aplicação tem como principal função comissionar o funcionamento da plataforma fazendo com que ela se comunique com a nuvem. Podendo assim armazenar os dados coletados para sua análise.
- O aplicativo, além de comissionar a comunicação da plataforma com a nuvem, fazendo todas as configurações necessárias (ex.: IP; porta; frequência de envio de dados;), também conta com a possibilidade de obter os detalhes do hardware desenvolvido, seja sua configuração atual, como também o acompanhamento dos dados na própria aplicação.
- O uso do aplicativo é apenas feito em loco, já que sua principal função é comissionar o sistema para o funcionamento a distância.

Uma descrição da versão beta desenvolvida está ilustrada na Figura 2.12.

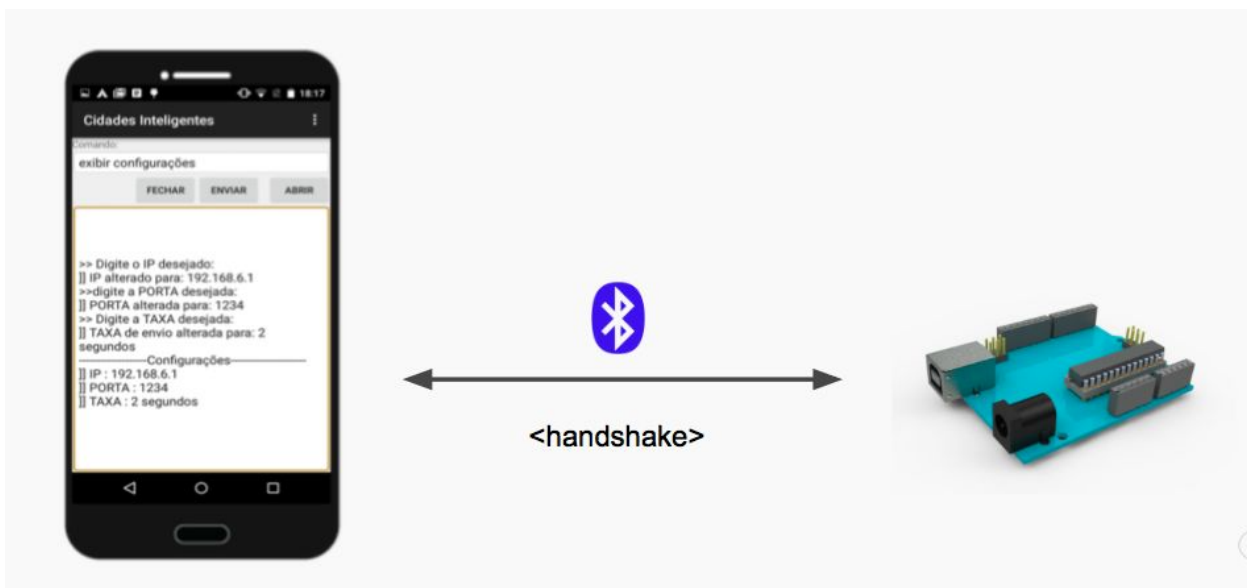


Figura 2.12. Ferramenta de comissionamento.

### 3 Considerações Finais

O WP 3 Sensoriamento, tem como objetivo principal o desenvolvimento de hardwares e softwares embarcados que irão prover dados a algumas aplicações do Projeto Smart Metropolis. Nomeadamente, no primeiro ano de execução do projeto a aplicação de monitoramento de água e energia será abordada.

O primeiro entregável refletiu a pesquisa na literatura e mercado sobre as principais soluções no contexto de medição de energia. Plataforma de hardware, ferramenta de comissionamento, módulos de comunicação e a escolha de tipos de drivers que irão conectar a aplicação (descrita no entregável do WP 2) foram os produtos desenvolvidos. No próximo entregável é esperado a construção de um protótipo beta da plataforma de hardware assim como a comunicação com a aplicação instalada na infraestrutura do DataCenter do IMD.

### Referências

[1]

<http://www.filipeflop.com/pd-18b9da-sensor-de-corrente-nao-invasivo-20a-sct-013.html>, ultimo acesso em 25/02/2016 às 22:32

[2] <http://www.filipeflop.com/pd-304251-sensor-de-corrente-ac-712-30a-a-30a.html>, ultimo acesso em 25/02/2016 às 22:40

- [3] FERREIRA, N. A. D. Sistema de contagem de energia eléctrica baseado em tecnologia GSM, FEUP, Porto-Portugal
- [4] JUNIOR, J. M. C. UM MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTEGRADO EM REDES DE COMUNICAÇÕES, UNICAMP, São Paulo