

ESTUDO DO POTENCIAL DE COLHEITA DE ENERGIA PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM APLICAÇÕES DE IOT

IRENO G. MACHADO JUNIOR, ALAN M. MOLINA, EDUARDO P. GODOY

Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência de Tecnologia, Sorocaba

*E-mails: irenogmjr@yahoo.com.br, mmolin.alan@gmail.com,
epgodoy@sorocaba.unesp.br*

Abstract—The energy harvest emerges as one of the solutions for the continuous power supply and batteryless wireless sensors networks devices and sensors for the Internet of Things paradigm. This paper describes the development of a prototype for energy harvesting and flow monitoring from hydraulic distribution networks. The experimental setup uses a closed loop circuit with variable water flow along with an electronically controllable pressurizing pump with flow sensor and micro hydro generator. The electrical energy recovered through the micro hydro generator provides energy for an IoT device with communication via Wi-Fi of the flow monitoring and harvested energy data and, additionally, provides energy to a set of batteries. Tests performed demonstrated the feasibility of energy harvesting using the micro hydro generator with 1W of capacity. Results of described tests allow verify the potential of energy harvesting as a viable alternative to guarantee the continuous operation of self-powered devices in wireless sensor networks and IoT.

Keywords—Energy harvesting, hydraulic flow, wireless sensor networks, internet of things

Resumo—A colheita de energia emerge como uma das soluções para a alimentação sustentável e até sem a utilização de baterias para sensores e dispositivos de controle e monitoramento em redes sem fio nas aplicações da Internet das Coisas (IoT). Este artigo descreve o desenvolvimento de um protótipo de colheita de energia e monitoramento de vazão a partir de redes de distribuição hidráulicas. O sistema experimental montado apresenta um circuito fechado de fluxo variável de água, criado a partir de uma bomba pressurizadora controlável eletronicamente, com sensor de vazão e um micro hidrogerador. A energia elétrica recuperada através do micro hidrogerador alimenta um dispositivo de IoT com comunicação via Wi-Fi dos dados de monitoramento da vazão e da quantidade de energia colhida e ainda, provê energia para um conjunto de baterias de armazenamento. Testes realizados demonstraram a viabilidade da colheita de energia pelo micro hidrogerador, com capacidade de geração de aproximadamente 1W de energia. Resultados obtidos nos testes descritos permitem comprovar o potencial da colheita de energia como uma alternativa viável para garantir a operação contínua de dispositivos autoalimentados em redes de sensores sem fio e IoT.

Palavras-chave—Colheita de energia, vazão hidráulica, redes de sensores sem fio, Internet das Coisas

1 Introdução

A Colheita de Energia em pequenas quantidades para a alimentação dos sensores e dispositivos de redes sem fio abrange atualmente uma importante parcela das iniciativas de pesquisa e desenvolvimento, tanto no meio acadêmico quanto nas empresas focadas em inovações tecnológicas (Harb, 2011). A aplicação da colheita de energia envolve os mais diferentes campos da engenharia, permitindo a união das áreas de automação, eletroeletrônica, mecânica e computação.

Um dos principais objetivos das pesquisas em colheita de energia é o de atender ao paradigma da Internet das Coisas (IoT) (Shaikh e Zeadally, 2016), o qual surge como uma nova revolução tecnológica onde a interação entre máquinas, seres humanos e o meio ambiente permite um novo patamar de excelência na forma como se produz bens e serviços. A Internet das coisas advém da evolução da tecnologia de comunicação Máquina-a-Máquina (M2M) que através da interconexão das “coisas” ou objetos inteligentes, visa enfatizar, além da monitoração e controle, os processos de otimização e autonomia, tornando-se um dos pilares da quarta revolução industrial ou indústria 4.0 (Wol-schlaeger, et al, 2017).

Dentro do vasto campo de aplicações é possível uma segmentação da IoT onde pode-se considerar dois grupos distintos de aplicações: a IoT para seres humanos

ou HIoT (*Human Internet of Things*) e a IoT para a indústria ou IIoT (*Industrial Internet of Things*). Esta segmentação baseia-se no emprego e análise comportamental dos dispositivos utilizados e no grau de impacto e controle resultantes dessas interações. Os grupos de monitoramento e automação de operações formam a IIoT, caracterizada por uma maior autonomia das ações. Os grupos de bem-estar e aplicações residenciais formam a HIoT, que é mais interativo e menos autônomo.

Em ambos os segmentos, as redes de comunicação sem fio constituem uma das partes principais e a colheita de energia, por sua vez, torna-se essencial nos sistemas e dispositivos a serem implementados para aplicações da Internet das Coisas (Kamalinejad et al., 2015). A capacidade computacional para essas aplicações já está disponível localmente ou através de armazenamento nas nuvens, restando como grande desafio, a implementação e alimentação elétrica de um enorme número sensores e atuadores e conectá-los de uma maneira viável e adequada (Shaikh e Zeadally, 2016). Dentre os requerimentos principais para viabilização dessas redes de dispositivos para a IoT, podem-se citar (Enocean, 2015):

- Investimento de instalação: um grande número de novos sensores e atuadores precisam ser alocados, muitas vezes na infraestrutura existente, ao mesmo tempo em que se mantém a complexidade da instalação atual;

- Esforço de manutenção: as exigências de serviços de manutenção para esses dispositivos devem ser mínimas para implementações em grande escala, principalmente em relação ao quesito energético (troca de bateria);

- Comunicação IPv6: necessidade de consolidação do formato de endereçamento dos dispositivos via Protocolo de Internet (IP) versão 6. No entanto, não é necessário que os dispositivos se comuniquem fisicamente via IPv6, desde que, a conversão entre o protocolo do dispositivo de rede e IPv6 seja transparente (ex: tunelamento via 6LowPAN);

- Confiabilidade e segurança: a troca de dados confiável e segura é fundamental quando as informações entre equipamentos e sistemas são realizadas em rede;

- Impacto Ambiental: o desperdício de energia é outro desafio. Mesmo no modo de baixa potência, os “bilhões” de dispositivos habilitados para conexão em rede tornarão o consumo de energia uma questão global para a IoT. Além disso, se todos esses dispositivos fossem alimentados por baterias, a quantidade de resíduos perigosos todos os anos representaria um impacto ambiental inviável.

Neste cenário, a colheita de energia apresenta-se como uma solução viável diante da grande quantidade de fontes para recuperação de energia do meio ambiente, prontas para utilização e traz vários benefícios para o usuário final das redes de sensores sem fio, os quais podemos citar (Tan e Panda, 2010):

- Redução da dependência de baterias: com o avanço da tecnologia microeletrônica os nós sensores consomem cada vez menos energia e a energia recuperada do meio ambiente pode tornar-se suficiente para eliminar o uso de baterias

- Redução de custos de instalação: os nós sensores autoalimentados não requerem cabos e instalações adicionais, tornando-se fácil sua instalação.

- Redução de custos de manutenção: os nós sensores passam a funcionar sem intensos serviços de manutenção de reposição de baterias.

- Proporciona sensoriamento e atuadores em locais de difícil acesso funcionando continuamente.

- Torna possível a adoção de soluções de longo prazo, com nós sensores autoalimentados mantendo-se funcionais enquanto as fontes de colheita de energia estiverem disponíveis.

- Redução do impacto ambiental, eliminando a necessidade de milhões de baterias e as reposições desses equipamentos.

A vazão de fluidos é uma fonte essencial para a colheita de energia e em particular, a vazão existente nas redes de distribuição de fluidos em áreas urbanas e industriais torna-se uma fonte alternativa com enorme potencial para a colheita de energia (Cunefare et al., 2013). Os sistemas hidráulicos têm inerentemente alta intensidade de energia associada à pressão e fluxo hidráulicos. A colheita de energia em sistemas hidráulicos pode viabilizar a utilização de nós sensores sem fio autossustentáveis do ponto de vista de alimentação elétrica (Hoffmann et al., 2013).

A microgeração de energia hidroelétrica no ambiente urbano pode utilizar, por exemplo, a vazão do consumo de uma residência típica, que pode chegar a 200 litros/pessoa/dia, conforme os dados da SABESP. A energia gerada é diretamente proporcional à vazão e pressão hidrostática presentes nas tubulações dos sistemas de distribuição de água (Yan, 2011).

Os estudos e testes desses sistemas de medição de vazão com colheita de energia variam desde pequenas vazões de córregos e distribuições hidráulicas prediais, até instalações hidráulicas em montagens industriais e urbanas. Este artigo tem como objetivo estudar o potencial de colheita de energia e apresentar o desenvolvimento de um protótipo de colheita de energia usando um micro hidrogerador para alimentação de um dispositivo eletrônico para medição de vazão e transmissão de dados sem fio para aplicações de IIoT.

2 Potencial da Colheita de Energia de Vazão de Fluidos

A colheita de pequenas quantidades de energia da vazão de fluidos está inserida principalmente em um contexto de utilização visando a alimentação de sensores interligados em redes de comunicação sem fio e sua efetiva utilidade está atrelada aos requerimentos de consumo de dispositivos eletrônicos que evoluem para atender a implementação da IoT. A mini geração de energia está classificada pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) como fonte geradora de energia distribuída e apresenta diversos benefícios tais como: baixo impacto ambiental, redução dos gastos nos sistemas de distribuição, redução de perdas e diversificação da matriz energética.

O levantamento do potencial de colheita de energia em vazões de sistemas hidráulicos de distribuição tem impulsionado a realização de desenvolvimentos e testes com hidrogeradores e medidores de vazão. Os hidrogeradores do tipo turbina utilizam os princípios construtivos dos geradores de corrente contínua de imã permanente onde a conversão de energia é baseada na Lei de Faraday de indução eletromagnética. Essa lei define o aparecimento de uma F.E.M (força eletromotriz) induzida em uma bobina quando sob o efeito de um campo magnético variável em seu interior, de maneira que a intensidade dessa F.E.M é diretamente proporcional à variação do fluxo magnético. Uma grande variedade de hidrogeradores têm sido desenvolvidos, com a utilização e intercâmbio de partes do conjunto rotórico e das hélices da máquina elétrica visando sua melhor eficiência.

Os estudos para colheita de energia com base em vazões hidráulicas têm apresentado resultados diversos, com aplicações utilizando diferentes composições de micro e mini hidrogeradores e circuitos eletrônicos conversores e gerenciadores para alimentação elétrica de cargas variadas. Nos micro e mini hidrogeradores, um dos maiores desafios é a eficiência das turbinas para atingir volumes de energia que viabilizem sua aplicação. A energia elétrica coletada, em geral, varia desde miliwatts (mW) até alguns watts (W), através da

integração de mini turbinas em operações paralelas, porém existem iniciativas para obtenção de maiores quantidades de energia através de vazões de água em dutos de até 4 polegadas.

Em Hoffmann (2013) apresenta-se o desenvolvimento de um protótipo utilizando a vazão hidráulica residencial e o desenvolvimento de uma turbina de fluxo axial para alimentação elétrica de um sistema de medição inteligente. O sistema utilizou uma bateria de armazenamento da energia recuperada, com resultados de geração de até 720 mW com uma taxa de vazão de 20 litros/min. A vazão hidráulica residencial também é o principal foco dos estudos do projeto de aplicação de um micro hidrogerador apresentado em Yan (2011). Neste trabalho utilizou-se um micro gerador de corrente contínua em conjunto com turbinas desenvolvidas especificamente para o projeto, visando a otimização da captação da vazão, tendo como principal objetivo o estudo do potencial da colheita de energia, com resultados atingindo tensões de 7 volts e 26 mA.

Em geral, os estudos e protótipos têm como objetivo a criação de sistemas unindo micro hidrogeradores comercialmente disponíveis com a construção de turbinas experimentais capazes de aumentar a eficiência na captação das vazões hidráulicas existentes, sendo a energia recuperada utilizada para fins de monitoramento de dados do ambiente ou recarregamento de banco de baterias. A energia recuperada tem como objetivo a alimentação de sensores de monitoramento do próprio sistema de distribuição de água do qual utiliza-se a vazão existente, conforme apresentado em Kayaalpa (2013). Neste trabalho utiliza-se um protótipo com sensores de pressão sem fio que são alimentados pela energia recuperada de um dinamômetro adaptado para uso em tubulações urbanas, com geração de até 6 volts e 40 mA.

Chen (2013) apresenta a aplicação de turbinas e geradores de maior porte utilizados nas tubulações principais de distribuição hidráulica existente em Hong Kong/China. Neste projeto, os geradores foram montados em tubulações de 100 mm, com a utilização de mais de 20 tipos de turbinas projetadas especificamente após estudos detalhados das condições de pressão e vazão de água existentes. Os resultados desse trabalho mostram potencial de geração de até 88,2 watts que foram utilizados para alimentação de uma rede de sensores do sistema de gerenciamento e monitoração de vazamentos e qualidade de água da cidade. A colheita de energia de outras fontes existentes no ambiente também pode compor um sistema unificado como é o caso do protótipo para alimentação de uma estação de aquisição de dados com rede de sensores sem fio, com o propósito de monitoramento das condições de uma vinícola (Morais, 2008). Neste projeto foram utilizadas a energia solar eólica e de vazão de água de um sistema de irrigação para compor um único centro de recuperação de energia com a finalidade de alimentar um conjunto de baterias de operação contínua. Os resultados obtidos mostram potencial de colheita de energia atingindo 58mAh.

Alguns estudos consideram o potencial de colheita de energia de sistemas com variações na quantidade de

mini hidrogeradores e na configuração física de montagem desses hidrogeradores. Alarefi e Wlaker (2015) utilizam mini hidrogeradores comercialmente disponíveis para conexão em tubulações residenciais. Nos estudos apresentadas foram utilizados dois condutos de vazão de água dispostos em paralelo, sendo que, em cada conduto foram montados dois mini hidrogeradores em série, compondo um conjunto de quatro dispositivos geradores. Cada um desses dispositivos apresenta propulsores de hélices radiais internas e com a capacidade de geração de até 15 volts e 1 watt de potência elétrica. A associação de micro hidrogeradores gerou até 4 watts, demonstrando a existência de alternativas para colheita de energia e ampliando o potencial de uso de vazões presentes nos ambientes urbanos e industrial.

3 Protótipo de Colheita de Energia para Medição de Vazão

Neste trabalho foi construído um protótipo para estudo do potencial de colheita de energia da vazão de um fluido para desenvolvimento de uma solução autossustentável de medição e monitoramento dessa vazão. A proposta é que a energia elétrica obtida pela colheita seja utilizada para a alimentação de um dispositivo eletrônico de medição e comunicação em rede sem fio no âmbito da IIoT. A integração da energia coletada e da medição de vazão é transmitida via comunicação sem fio para o armazenamento dos dados e disponibilização remota em tempo real e de forma interoperável online, para qualquer tipo de plataforma, como smartphones, tablets ou computadores, tornando os dados de monitoramento acessíveis em tempo real, para qualquer ponto conectado à rede e/ou Internet.

3.1 Estrutura do Protótipo

O protótipo, conforme a Figura 1, está montado com um reservatório de 40 litros com um circuito hidráulico em uma tubulação de ½ polegada, com fluxo variável de água realimentado por uma bomba pressurizadora e com a inserção de um micro hidrogerador e sensor de vazão. Na Figura 2 estão identificados os equipamentos e circuitos eletrônicos, conforme a estrutura composta de:

1. Micro hidrogerador (microturbina) com capacidade (catálogo) de geração de até 3,5 watts, tensão de 8,8 a 15 VCC em carga, corrente de saída de 128 a 260 mA, pressão máxima 1,6 Mpa;
2. Sensor de Vazão tipo Efeito Hall, faixa de vazão de 1 a 30 l/min., tensão de operação de 5 a 24 VCC, pressão máxima de 2 Mpa;
3. Bomba de pressurização de vazão nominal de 13 L/min com circuito eletrônico controlador de velocidade a partir de tensão de 0 a 5 VCC;
4. Fonte de alimentação auxiliar de 24 VCC para alimentação bomba pressurizadora;

- Circuito eletrônico principal para colheita de energia do mini hidrogerador, conversores de tensão e sinal de vazão, microcontrolador programável NodeMCU, resistores shunts de 1 Ohm de medição para DAQ LabVIEW e acoplamento de conjunto de baterias auxiliares;
- Módulo DAQ LabVIEW de entradas/saídas digital/analógica para interfaceamento de dados do circuito principal.

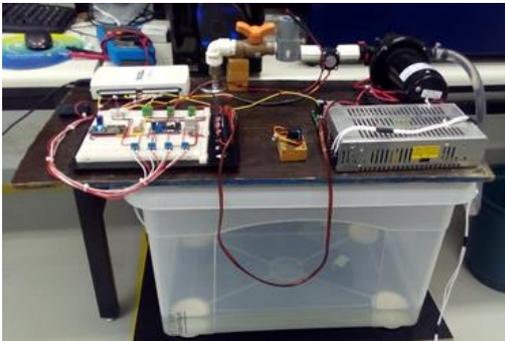


Figura 1. Protótipo montado do sistema de colheita de energia para medição de vazão

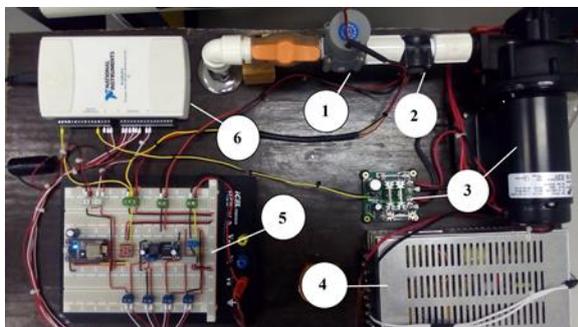


Figura 2. Visão geral dos componentes do protótipo

A partir da bomba pressurizadora com o circuito controlador de velocidade é implementada a variação gradual da vazão no sistema, sendo a potência elétrica gerada diretamente proporcional à variação da vazão. Os terminais do micro hidrogerador são ligados a um conversor/regulador de tensão do tipo Buck de 12VCC para 5 VCC, com a saída de tensão regulada para alimentar um dispositivo eletrônico NodeMCU e recarregamento do conjunto de baterias de suporte. O NodeMCU é responsável pela medição de vazão volumétrica (L/min) e volume (L) e comunicação sem fio dos dados via WiFi para um equipamento de monitoração. O dispositivo NodeMCU é uma placa eletrônica programável baseada no ESP8266, com entradas/saídas digitais e analógica, conversor USB Serial integrado. O ESP8266 é um SoC (*System on Chip*) de 32 bits de baixa potência com comunicação Wi-Fi incorporada, usado para prototipagens de IoT. Na saída do conversor de tensão foi acoplado a um conjunto de três baterias tipo AAA de suporte que são recarregadas em paralelo à alimentação do dispositivo NodeMCU através da colheita de energia elétrica do micro hidrogerador. Adicionalmente foi necessário um conversor de sinais de 5 V para 3,3 V para permitir a entrada do sinal do sensor de vazão no NodeMCU.

A Figura 3 apresenta o diagrama de conexão dos dispositivos com os respectivos circuitos utilizados para as medições de geração de energia pelo micro hidrogerador e consumo pelo circuito eletrônico de medição de vazão.

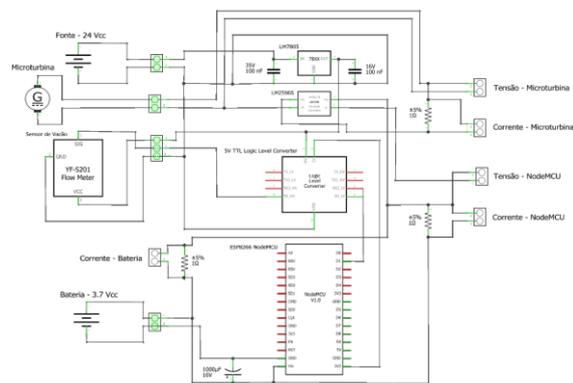


Figura 3. Circuitos Eletrônico de Colheita de Energia e Medição de Vazão

4 Estudo do Potencial de Colheita de Energia

Os experimentos realizados no protótipo objetivaram estudar o potencial de colheita de energia hidráulica do micro hidrogerador e verificar a viabilidade de usar essa energia elétrica gerada para alimentação, de forma sustentável, do circuito eletrônico (microcontrolador, sensor e componentes adicionais) para medição de vazão e comunicação com a IoT.

Para isto, foram realizadas medições das grandezas elétricas Corrente (mA), Tensão (VCC) e Potência (mW) de geração (colheita) de energia pelo micro hidrogerador e de consumo de energia pelos circuitos eletrônicos e medição da variável de interesse Vazão (L/min) do sistema. Todos os experimentos foram realizados com o mesmo perfil de variação da potência, e conseqüentemente da vazão, da bomba de pressurização. O perfil utilizado foi uma variação linear de 0 a 100% da potência da bomba durante o período de 0 a 180 s do experimento. O microcontrolador NodeMCU executa continuamente a leitura de vazão da tubulação e a transmissão desses dados via Wi-Fi para uma plataforma de IoT em nuvem (Thingier.io) é realizada a cada 1 s.

Os resultados obtidos da colheita de energia em função do aumento da vazão foram reunidos e analisados através da geração de gráficos de correlação das grandezas elétrica de geração e consumo com a vazão gradual obtida. O gráfico da Figura 4 apresenta o potencial de colheita de energia pelo micro hidrogerador (microturbina) através da geração de tensão e corrente elétrica para o experimento com o circuito eletrônico e conjunto de baterias acoplado. Neste gráfico pode-se verificar o início de uma rampa de geração efetiva de tensão e corrente diante da carga acoplada no conversor em torno de 50 s. O potencial de geração atinge seu valor máximo, para as condições do experimento realizado, ao final de 180 s, apresentando um valor

máximo em torno de 4,7 VCC e 195 mA, totalizando aproximadamente 916 mW nas condições de carga descritas.

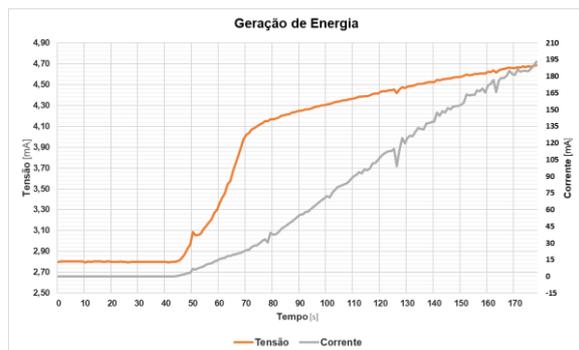


Figura 4. Geração de Tensão (V) e Corrente (mA) pelo Microturbina

A Figura 5 apresenta um gráfico de correlação entre as potências gerada pela microturbina e consumida pelo circuito eletrônico em função da rampa de incremento de vazão. A potência de fornecimento (valores positivos) ou recarregamento (valores negativos) de energia da bateria também é apresentada em função da rampa de vazão. A potência consumida pela carga, durante a realização do experimento se mantém em torno em torno de 350 mW. No início do experimento (até 50 s), toda a energia consumida pela carga é fornecida pela bateria, pois ainda não há geração efetiva de energia pela microturbina apesar de já haver vazão (até quase 3l/min) na tubulação. É possível verificar que a bomba pressurizadora possui uma zona morta de atuação, pois somente há incremento de vazão no sistema hidráulico a partir de 14 s, apesar do incremento linear do sinal de comando da bomba desde o início do experimento. A partir de 14 s até 50 s, apesar de haver uma vazão pelo sistema, a mesma é insuficiente para colheita efetiva de energia da microturbina. O primeiro ponto de interesse é identificado com uma vazão de 3 l/min, no instante de 50 s, onde a energia gerada inicia uma rampa de crescimento. Essa vazão de 3l/min, portanto, é a vazão mínima necessária para colheita de energia pela solução proposta.

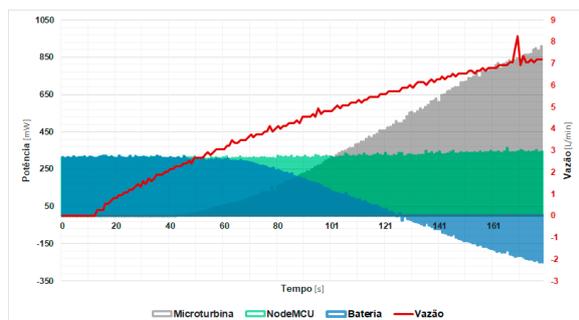


Figura 5. Medição de Geração, Consumo (mW) e Vazão (l/min)

A partir de 50 s, inicia-se um declínio da potência fornecida pela bateria em função da colheita e utilização da energia gerada pela microturbina. O segundo ponto de interesse na Figura 5 é verificado no instante

de 101 s, correspondente a uma vazão de 5 l/min, no qual a energia gerada possui a mesma a ordem de grandeza que a potência requerida pela carga. No entanto, por causa das perdas do circuito (conversor buck), verifica-se ainda nesse ponto um fornecimento de potência pela bateria de em torno de 110mW.

A viabilidade da colheita de energia, ou seja, de usar a energia elétrica gerada para alimentação, de forma sustentável, do circuito eletrônico (microcontrolador, sensor e componentes adicionais) para medição de vazão e comunicação com a IoT é comprovando no terceiro ponto de interesse da Figura 5. A partir do instante de 130 s, com vazão em torno de 6 l/min, a energia gerada assume completamente o fornecimento de energia para consumo da carga. Além disso, é possível verificar que há potencial restante para o recarregamento do conjunto de baterias, visto que a partir desse instante os valores de potência da bateria assumem valores negativos (carregamento). Na vazão máxima obtida ao final deste experimento, em torno de 7,5 l/min, verifica-se que a colheita de energia é capaz de alimentar o circuito eletrônico de medição de vazão e carregar o conjunto de bateria em até 240mW. Os resultados descritos demonstram o cumprimento dos objetivos propostos no trabalho de análise da viabilidade e potencial de aplicação da colheita de energia via microturbina para alimentação de um circuito para medição de vazão.

A Figura 6 apresenta a medição dos valores de tensão e corrente, considerando o dispositivo NodeMCU durante o período do experimento e com a transmissão de dados via Wi-Fi para a plataforma em nuvem da IoT (Thingier.io). Observa-se a variação de valores, com picos de corrente durante a transmissão de dados, em menor escala de plotagem, com valores de tensão entre 3,42 e 3,64 VCC e corrente entre 90,6 e 98,6 mA. Verifica-se um leve incremento dos valores de tensão de alimentação do NodeMCU a partir do instante 70 s, proveniente do início da geração pela microturbina e consequente carregamento da bateria.

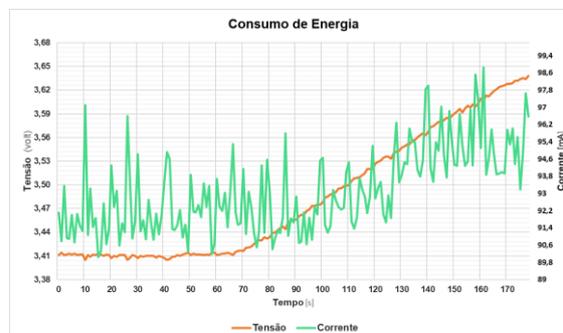


Figura 6. Medição de Tensão (V) e Corrente (mA) de Consumo

Através dos resultados obtidos, verifica-se a viabilidade da colheita de energia e sua utilização para a operação de sensores e dispositivos em redes sem fio conectados à IoT. Os valores máximos de potência gerada pela microturbina de 916 mW apresentados estão limitados em função da vazão máxima de 7,5 l/min., obtida a partir da bomba de pressurização. É importante salientar que essa vazão máxima foi limitada em

razão da configuração da bancada desse trabalho. No entanto, esses valores apresentam potencial comprovado para as aplicações de alimentação de circuitos eletrônicos e de medição de vazão.

Na sequência deste trabalho pretende-se estudar os modos de baixo de consumo de energia (*low energy e sleep mode*) do microcontrolador utilizado para minimizar o consumo de energia pela solução e maximizar seu potencial de aplicação. A operação da solução usando protocolos de comunicação industriais e da IoT (Modbus TCP/IP, MQTT) também será analisada para permitir maior interoperabilidade. Adicionalmente, propõe-se investigar a operação da solução conectada em instalações de distribuição hidráulica predial e residencial.

Conclusão

A utilização da vazão de fluidos, disponível no ambiente através infraestrutura dos sistemas de distribuição hidráulica, traz novas oportunidades para o desenvolvimento de sistemas e tecnologias de colheita de energia e soluções para buscar a autossuficiência em energia elétrica em aplicações de monitoramento e redes de sensores sem fio no âmbito da IoT.

Testes realizados comprovaram o potencial de geração de energia da solução através da medição de corrente, tensão e potência em função da vazão da tubulação. Nas configurações testadas, a geração de energia obtida com a colheita de energia hidráulica foi de até 1 W, suficiente para alimentação do circuito eletrônico de medição de vazão e transmissão sem fio, além de carregar a bateria de suporte de alimentação da solução.

Referências Bibliográficas

- Alarefi, S.A.S; Walker S. D. (2016). Intelligent Low-Cost Micro-Hydro Power Emulator for Domestic Applications. School of Computer Science and Electronic Engineering CSEE, University of Essex
- Babayo, A. A.; Anisi, M. H.; Ali, I. (2017). A Review on energy management schemes in energy harvesting wireless sensor networks, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 76, pp. 1176-1184.
- Chen, J. (2013). A novel vertical axis water turbine for power generation from water pipelines. University of Shanghai for Science and Technology. June.
- Cunefare, K. A.; Skow, E.A.; Ertuk, A.; Savor, J.; Verma N.; Cacan, M.R. (2013). Energy harvesting from hydraulic pressure fluctuations. Iop Publishing Smart Materials And Structures.
- EnOcean White Paper (2015). Energy Harvesting Wireless Power for the Internet of Things. https://www.enocean.com/fileadmin/redaction/pdf/white_paper/White_Paper_Intenet_of_Thin gs_EnOcean.pdf.
- Harb, A. (2011). Energy harvesting: State-of-the-art, *Renewable Energy*, vol. 36, no. 10, pp.2641-2654.
- Hoffmann, D; Willmann, A; Göpfert, P; Becker, P; Folkmer, B and Manoli Y(2013). Energy Harvesting from Fluid Flow in Water Pipelines for Smart Metering Applications *Journal of Physics: Conference Series*.
- Kamalinejad, P.; Mahapatra, C.; Sheng, S.; Mirabbasi, S.; Leung, V. C. M.; Guan, Y.L. (2015). Wireless energy harvesting for the Internet of Things. *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 6, pp. 102-108, June 2015.
- Kayaalpa, F.; Zenginb, A.; Karac R.; Buyukguclua, M.A. (2013). Water Powered Sensors In Water Distribution Systems *Turkish Journal of Engineering, Science and Technology*.
- Morais, R; Matos S.G.; Fernandes M.A.; Valente A.L.G.; Soares S.F.S.P.; Ferreira P.J.S.G.; Reis M.J.C.S. (2008). Sun, wind and water flow as energy supply for small stationary data acquisition platforms. *Computers and electronics in agriculture*.
- Pereira , C.E.P; Carvalho, F.V. (2017). A Internet das Coisas (IoT): Cenário e Perspectivas no Brasil e Aplicações Práticas VII SRST – Seminário de Redes e Sistemas de Telecomunicações - INATEL ISSN 2358-1913
- Shaikh, F. K.; Zeadally, S. (2016). Energy harvesting in wireless sensor networks: A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 55, pp. 1041-1054.
- Tan, Y. K.; Panda, S. K. (2010). Review of Energy Harvesting Technologies for Sustainable Wireless Sensor Networks, *InTech*, pp. 16-43.
- Wollschlaeger, M.; Sauter, T.; Jasperneite, J. (2017). The Future of Industrial Communication: Automation Networks in the Era of the Internet of Things and Industry 4.0, *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol.11, pp.17-27.
- Yan, T.C; Ibrahim T; Nor. N. M. (2011). Micro Hydro Generator Applied on Pipeline. *International Conference on Electrical Engineering and Informatics*, Bandung, Indonesia.