

## SISTEMA SUPERVISÓRIO NO CONTROLE DE DEMANDA EM ESTUFAS BASEADO NA PLATAFORMA RADIUINO

**Talles Ribeiro de Castilho**

talles\_castilho@hotmail.com

**Eduardo Henrique Ferroni**

UNIS

eduardo.ferroni@professor.unis.edu.br

Recebido em: 14/11/2019.

Aprovado em: 31/03/2023.



DOI: 10.18406/2359-1269v8n12021193

## Resumo

As tecnologias da informação com a engenharia avançam exponencialmente na construção de ferramentas para várias áreas de conhecimento, inclusive na área de agricultura e plantio, com soluções significativas e desempenho produtivo satisfatório aos produtores, com o conceito da “Internet das Coisas” (*IoT*), como sistemas de irrigação, controle de temperatura e umidade do ar e solo em estufas. Com isso, foi desenvolvido um sistema supervisor para gerenciamento de consumo de energia elétrica e controle de demanda, baseando-se em um protótipo de Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) na plataforma Rádium, automatizando o cultivo protegido. Monitorando o consumo de energia elétrica, propiciando economia, controlando a demanda energética necessária para o ambiente, onde, a partir do sensoriamento, determinam-se os melhores momentos para acionamento e desligamento de cargas existentes. Ressalta-se que nesta prototipagem considera-se uma estufa que possui um sistema de irrigação, realizado por eletrobomba, para controle da umidade do solo, e um sistema de exaustão, para controle da temperatura, por meio de exaustor, com a finalidade de renovação do ar no interior do ambiente. O projeto realizado demonstrou uma performance satisfatória, com uma significativa melhora no processo de controle do ambiente, monitorando o cultivo em tempo real por dispositivos conectados a internet, mantendo os parâmetros vitais às plantas presentes na estufa, tratando a questão da eficiência energética junto aos produtores, mostrando a importância de se evitar desperdícios de energia, contribuindo assim também na entrega demandada de energia, pelas concessionárias.

**Palavras-chave:** Energia; Eficiência Energética; Estufas automatizadas; Internet das Coisas.

## Abstract

As tecnologias da informação com a engenharia avançam exponencialmente na construção de ferramentas para várias áreas de conhecimento, inclusive na área de agricultura e plantio, com soluções pensadas e produtivas produtivas aos produtores, com o conceito da “Internet das Coisas” (*IoT*), como sistemas de irrigação, controle de temperatura e umidade do ar e solo em estufas. Com isso, foi desenvolvido um sistema supervisor para gerenciamento de consumo de energia elétrica e controle de demanda, baseando-se em um protótipo de Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) na plataforma Rádium, automatizando o cultivo protegido. Monitorando o consumo de energia elétrica, propiciando economia, controlando a demanda energética necessária para o ambiente, onde, a partir do sensoriamento, determinam-se os melhores momentos para acionamento e desligamento de cargas existentes. Ressalta-se que nesta prototipagem considera-se uma estufa que possui um sistema de irrigação, realizado por eletrobomba, para controle da umidade do solo, e um sistema de exaustão, para controle da temperatura, por meio de exaustor, com a finalidade de exaustão do ar no interior do ambiente. O projeto realizado provou uma performance satisfatória, com uma melhoria significativa no processo de controle do ambiente, monitorando o cultivo em tempo real por dispositivos conectados a internet, mantendo os parâmetros de manutenção às plantas presentes na estufa, tratando a questão da eficiência energética junto aos produtores, mostrando a importância de se evitar desperdícios de energia, garantindo assim também na entrega exigida de energia, pelas atendidas.

**Keywords:** Energy; Energy Efficiency; Automated greenhouses; Internet of Things.

## Introdução

A sustentabilidade tem gerado discussões e buscas constantes pela geração e consumo de energia elétrica eficiente. Mantê-los em equilíbrio, sendo avaliados e monitorados em tempo real, torna-se uma evolução no controle entre ambos.

Observa-se que a energia demandada durante o dia varia muito em seus valores, para mais ou para menos, dependendo do ambiente analisado, a quantidade de equipamentos utilizados simultaneamente,

caracterizando os momentos de pico no consumo da energia, e assim possibilitando tomar medidas para controle no uso de tais cargas. Como se sabe, o dimensionamento do sistema elétrico é principalmente aplicado para suprir as necessidades em momentos que se tem um consumo maior de energia.

Conforme exposto pela Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO, 2017), aproximadamente R\$ 61,7 bilhões representou o saldo negativo, em termos de desperdício de energia elétrica no Brasil entre 2014 e 2016.

Para que se possa realizar uma otimização em todo emprego do sistema elétrico, deve-se abordar o Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD), permitindo maior interação dos consumidores com as unidades geradoras, gerenciando o consumo, enquadrando-se melhor à sua realidade que envolve o custo da energia demandada.

De acordo com a nova modalidade tarifária residencial - Tarifa Branca - que foi disponibilizada em 1º de janeiro de 2018 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017), é de fundamental importância por parte dos consumidores o gerenciamento e monitoramento do consumo.

Este projeto objetiva automatizar e controlar o processo produtivo em estufas de cultivo, permitindo melhoria na maneira de consumir energia elétrica e um ambiente mais adequado às plantas cultivadas, com um sistema supervisor implementado nos moldes e padrões *web*, que é a *interface* de gerenciamento do protótipo desenvolvido na plataforma Radium, com aplicação das RSSF, com conceitos da *IoT*, e o paradigma do Código Aberto, onde o produtor na figura de usuário, tem o acesso livre às informações referentes ao seu consumo de energia elétrica, bem como de informações de temperatura, umidade do ar e do solo do ambiente. Este monitoramento é realizado diariamente pelas medidas dos sensores que são armazenadas em um banco de dados.

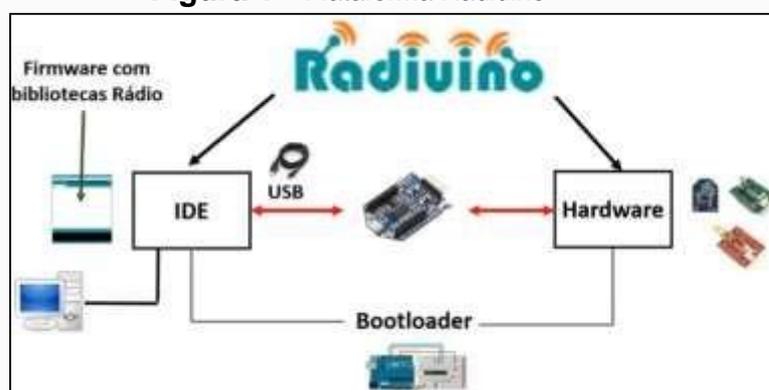
A solução sistêmica auxilia no acompanhamento mais detalhado do consumo de energia elétrica, baseando-se nas condições climáticas medidas na estufa, com a análise dos melhores momentos para

acionamento e desligamento do sistema de irrigação e exaustão, mantendo a vitalidade das plantas, evitando desperdícios e gerando economia.

## Fundamentação Teórica

A plataforma Arduino é a base de integração para a plataforma Radiuino (Figura 1), aplicada ao protótipo em experimento, como descrito por Branquinho (2019), a mesma é composta pela união da plataforma Arduino à transceptores de radiofrequência, onde os elementos físicos (*Hardwares*), utilizando-se o *Integrated Development Environment (IDE)* do Arduino, são programados, baseando-se nas bibliotecas do Radiuino, e para que a comunicação da *IDE* com o *hardware* ocorra, necessita-se de um programador *Uartsbee*, conforme descrito posteriormente, que realiza a conversão *USB-Serial*.

**Figura 1** – Plataforma Radiuino



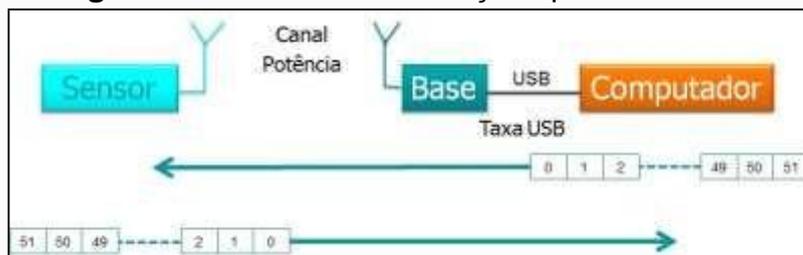
Fonte: (IOTOOLS ACADEMY, 2019).

O Radiuino consiste na associação de um microcontrolador ATmega328 e um transceptor CC1101 capaz de realizar transmissões e recepções via radiofrequência. No mercado existem três *hardwares* Rádio disponíveis: *RFBee*, de fabricação chinesa; BE900 e BE990, fabricados no Brasil pela empresa Radioit LTDA.

Para se desenvolver as diversas aplicações possíveis com o Radiuino, é preciso compreender sua teoria, que abrange a RSSF (Figura 2), pilha de protocolos, modelamento em camadas bem definidas, etc.,

Definindo-se o papel da RSSF, onde cada dispositivo da rede é um nó sensor, capaz de monitorar grandezas e acionar dispositivos, é necessário desenhar todo o sistema, definindo e detalhando cada parte constituinte identificando os problemas a serem solucionados. (BRANQUINHO, 2019).

**Figura 2 – Fluxo das informações pela RSSF**

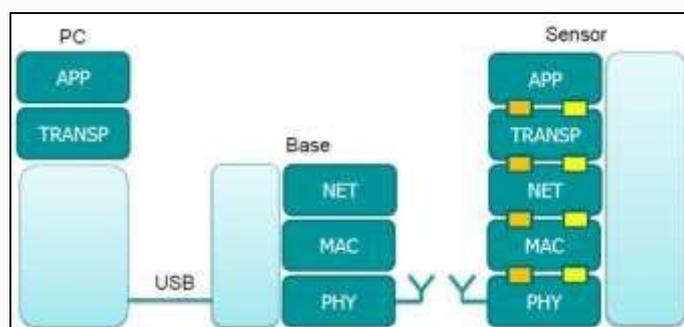


Fonte: (BRANQUINHO, 2019).

A base é conectada ao computador através de um cabo *USB*. Já o nó sensor é uma “entidade” podendo monitorar parâmetros de temperatura, umidade, etc., ou controlar dispositivos como bombas, exaustores, etc. Todo o fluxo de informações captadas por meio dos sensores é receitado na base, definindo-se a conceituação do gerenciamento das informações e da rede em si. O Canal de potência é o ar.

A pilha de protocolo TCP/IP com cinco camadas, serviu de base para a criação do *firmware* (Figura 3).

**Figura 3 – Pilhas de Protocolo TCP/IP com 5 camadas**



Fonte: (BRANQUINHO, 2019).

No protocolo padrão do Radiuino, a comunicação da base com um nó sensor da rede é realizada através da topologia estrela, onde a base, de

maneira individual, interage com cada um, o que não considera a propriedade de dispor de roteamento entre eles. Desta forma, o protocolo requer que o computador monte um pacote de 52 *bytes* enviando-o a base, que por sua vez, recebe o pacote e transmite-o a todos os nós sensores da rede. Apenas um da rede irá processar os dados recebidos, pois, o endereço de destino está no próprio pacote. Assim que é feito o processamento dos dados, o nó sensor o retransmite a base, que ao receber o novo pacote irá disponibilizar as informações da tela do computador, conforme as necessidades de aplicação (BRANQUINHO, 2019).

O pacote Radiuino que utiliza o *Frame* (“quadro”) é descrito conforme Figura 4.

**Figura 4 – Pacote Radiuino**

Cabeçalhos das camadas	PhyHdr[#]				MACHdr[#]				NetHdr[#]				TranspHdr[#]					
Posição na variável do cabeçalho	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3		
Função de cada posição de cada cabeçalho	RSSI_DLINK	LQI_DLINK	RSSI_ULINK	LQI_ULINK	Sleep	Tempo Sleep1**	Tempo Sleep2*	TBD	DST_ID Quem Recebe	DST_NID	SRC_ID Quem manda	SRC_NID	COUNT	TBD	TBD	TBD		
Posição dos bytes no pacote	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
<b>Conversores AD</b>																		
	AD0[#]			AD1[#]			AD2[#]			AD3[#]			AD4[#]			AD5[#]		
Posição na variável dos AD	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Função de cada posição de cada AD	AD0[0]	AD0[1]	AD0[2]	AD1[0]	AD1[1]	AD1[2]	AD2[0]	AD2[1]	AD2[2]	AD3[0]	AD3[1]	AD3[2]	AD4[0]	AD4[1]	AD4[2]	AD5[0]	AD5[1]	AD5[2]
Posição dos bytes no pacote	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
<b>Entradas e saídas digitais</b>																		
	IO0[#]			IO1[#]			IO2[#]			IO3[#]			IO4[#]			IO5[#]		
Posição na variável dos IO	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Função de cada posição de cada IO	IO0[0]	IO0[1]	IO0[2]	IO1[0]	IO1[1]	IO1[2]	IO2[0]	IO2[1]	IO2[2]	IO3[0]	IO3[1]	IO3[2]	IO4[0]	IO4[1]	IO4[2]	IO5[0]	IO5[1]	IO5[2]
Posição dos bytes no pacote	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51

Fonte: (BRANQUINHO, 2019).

Segundo Branquinho (2019), os 52 *bytes* do pacote Radiuino se divide em:

- 0-3** → *Bytes* de cabeçalho da camada Física (*Phy*, 4 *bytes*);
- 4-7** → *Bytes* de cabeçalho da camada MAC (*MAC*, 4 *bytes*);
- 8-11** → *Bytes* de cabeçalho da camada de Rede (*Net*, 4 *bytes*);
- 12-15** → *Bytes* de cabeçalho da camada de transporte (*Transp*, 4 *bytes*);
- 16-33** → *Bytes* para transmissão de dados dos Conversores Analógico-Digitais (CAD, ou *ADC* em inglês) – 6 AD com 3 *bytes* cada um;
- 34-51** → *Bytes* para transmissão de dados dos I/O's – 6 I/O com 3 *bytes* cada um.

Para uma RSSF que se comunica com a plataforma Radiuino,

permitindo a comunicação via radiofrequência, a operação é a 915 MHz, na Faixa de Frequência *Industrial Scientific and Medical* (ISM), que no Brasil é regulamentada pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) (BRANQUINHO, 2019).

Para tanto, se faz necessário um ambiente amigável de interação homem- máquina, possibilitando agilidade na visualização e entendimento do processo em um todo, demonstrando as informações de maneira detalhada por meio de gráficos, tabelas, dentre outras, com a finalidade de favorecer a operação adequada (FERRONI, 2013).

Com os sistemas supervisórios conhecidos como *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), pode-se atuar no monitoramento e rastreamento de informações físicas de um determinado ambiente ou processo produtivo, e o poder de decisão necessário para tal, é elevado à medida que novos conhecimentos são obtidos e um alto fluxo de dados passam a ser captados, reforçando os conceitos referentes à *IoT*.

## Material e Métodos

O projeto foi realizado em laboratório com a criação do protótipo para a possibilidade de aplicação definitiva em uma planta real de modelo de carga, que consiste de uma estufa de cultivo, que possui uma eletrobomba (Figura 5), e um exaustor (Figura 6), com suas respectivas especificações (Tabelas 1 e 2), representando o conjunto de equipamentos de controle das condições climáticas do ambiente, podendo ser modificado para outras estruturas de estufas, com mais ou outros tipos de cargas.

**Figura 5** – Eletrobomba Schneider 3cv Me Al 1630  
Monofásica



Fonte: (A CASA DO AGRICULTOR, 2019).

**Tabela 1 – Detalhes da Eletrobomba Schneider 3cv  
Me Al 1630 Monofásica**

Especificação Técnica			
Especificação	Valores	Especificação	Valores
Série	ME-1	Nº Estágios	6
Modelo	ME-AL1630	Altura Manométrica Total	60 – 104 (m c.a.)
Potência	3 CV Mono ou 2206,5W	Vazão	5,2 - 2,2 m3/h
Voltagem	110V	Sucção	1

Fonte: A casa do Agricultor (2019).

**Figura 6 – Exaustor Axial Maxx 150 Mm - 127 V**



Fonte: Sicflux (2019).

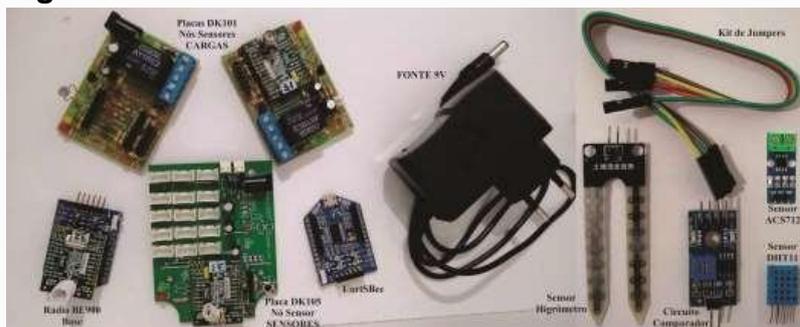
**Tabela 2 – Detalhes do Exaustor Axial Maxx 150 Mm  
- 127 V**

Especificação Técnica			
Especificação	Valores	Especificação	Valores
Vazão	Min.: 467 - Max.: 552 m³/h	Potência	Min.: 66W – Max.: 88W
Pressão	Min.: 27 - Max.: 32 mmCA	Voltagem	110V
Ruído	Min: 33 - Max.: 44 dB(A)	Diâmetro da Tubulação	6"

Fonte: Sicflux (2019).

Utilizou-se o Kit Arduíno com sensores conforme figura 7 a seguir.

**Figura 7 – Kit arduíno e sensores**



Fonte: os autores (2019).

Os componentes do referido Kit Radiuino e demais materiais (Quadro 1), e uma breve descrição sobre os mesmos, são apresentados a seguir (Figuras de 8 a 16).

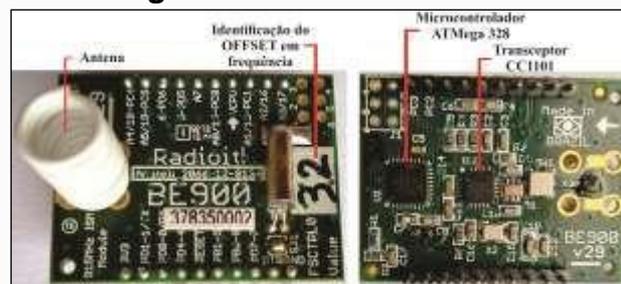
**Quadro 1** – Componentes do Kit Raduino e materiais utilizados

Nº	Descrição	Quantidade
1	Rádio BE900	4
2	Placa de aplicação – Kit DK101	2
3	Placa de aplicação – Kit DK105 – Grove	1
4	<i>UartSBee</i> – Conversor <i>USB/SERIAL</i>	2
5	Fonte 09 Volts	3
6	Sensor de Temperatura e Umidade DHT11	1
7	Sensor de Umidade do Solo - Higrômetro	1
8	Sensor de Corrente ACS712-30A	1
9	Kit <i>Jumpers</i> (F-F/M-M/M-F) e Conector <i>Grove</i>	2 ou mais
10	Resistor de 5KΩ	1
11	Contator Schneider ACTI9 ICT25A 127/VCA 60Hz	2

Fonte: os autores (2019).

Na Figura 8 é representado o *hardware* Rádio BE900 (BRANQUINHO, 2019), responsável pela criação da RSSF, que irá monitorar as grandezas de temperatura, umidade do ar e do solo, e também acionar cargas existentes no ambiente.

**Figura 8** – Rádio BE900



Fonte: os autores (2019).

A placa de aplicação Kit DK101 (Figura 9), representa o nó sensor, na qual será acoplado o Rádio BE900 e um circuito pré-amplificador, que é o intermediário entre a conexão dos terminais “comum” e normalmente aberto (NA), do relé eletromecânico presente na placa e os contadores (Figura 10), responsáveis pelo acionamento da eletrobomba e do exaustor.

**Figura 9** – Placa de aplicação – Kit DK101



Fonte: os autores (2019).

**Figura 10** - Contator Schneider ACT19 ICT25A  
127/VCA 60Hz



Fonte: Schneider (2019).

Recomenda-se a utilização de *Drivers* isoladores, feitos com amplificadores operacionais (AMPOP), pois torna a prototipagem mais rápida e facilita o *firmware*. O AMPOP seguidor unitário, possui uma impedância de entrada infinita e de saída igual a 0, fazendo-o um ótimo *Driver* ou isolador (*buffer*) de estágios, reforçador de correntes e casador de impedâncias, etc. (WENDLING, 2010).

Na placa de aplicação Kit DK105 – Grove (Figura 11), será acoplado também o Rádio BE900, representando o nó sensor para monitoramento de grandezas dispostas pela conexão dos sensores de corrente, temperatura e umidade do ar e solo.

**Figura 11** – Placa de aplicação – Kit DK105 – Grove



Fonte: os autores (2019).

Para a comunicação entre *IDE* e *hardware*, necessita-se de um programador *UartSBee* (Figura 12), que realiza a conversão USB/SERIAL, permitindo a conexão e gravação do *firmware* no microcontrolador ATmega328, presente no Rádio BE900. Este *firmware* prepara o microcontrolador para recepção do pacote, a fim de executar o estabelecido. Deve-se definir a conexão dos pinos físicos do BE900 com os pinos lógicos (ligação física – lógica), que juntamente com as variáveis devem ser mapeados no pacote do Radiuino, onde já estão previamente definidas (BRANQUINHO, 2019).

**Figura 12 – Uartsbee**

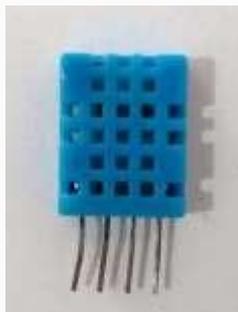


Fonte: os autores (2019).

Utilizou-se uma Fonte de 09 Volts, 1 Ampere, para fornecimento de energia para as placas de aplicação DK101 e DK105, que são os nós sensores do projeto.

O Sensor de Temperatura e Umidade DHT11 (Figura 13), realiza medições de temperatura entre 0 a 50 °C e umidade entre 20 a 95% UR. Recomenda-se empregar um resistor *pullup* de 5K $\Omega$  (Figura 14), ligando a saída de dados à alimentação VDD, para cabos de conexão menores que 20 metros (D-ROBOTICS, 2019).

**Figura 13 – Sensor DHT11**



Fonte: os autores (2019).

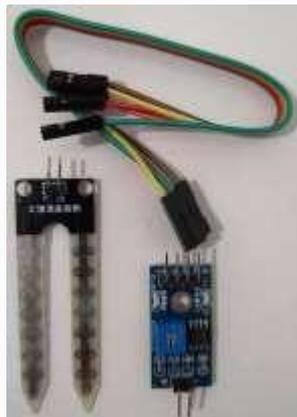
**Figura 14** – Resistor de 5K $\Omega$



Fonte: Sparkfruit (2019).

O Sensor de Umidade do Solo ou Higrômetro (Figura 15), é constituído de duas hastes a serem fixas ao solo monitorado e um comparador LM393, que devolve o nível de condutividade presente nele. As duas hastes são eletrodos, que conduzem a corrente que percorre o solo, lendo o nível de umidade, através do comparativo por meio da resistência do potenciômetro que ajusta o sinal digital presente na placa, que possui uma saída digital (D0), e uma saída analógica (A0). O solo estando seco, a resistência entre os eletrodos aumenta, dificultando a passagem de corrente elétrica. À medida que o solo absorve água, essa resistência diminui, permitindo a passagem de corrente elétrica, e assim reconhecendo o estado em que se encontra o solo analisado, se muito seco ou muito molhado (ALMEIDA, 2017).

**Figura 15** – Sensor de umidade do solo – Higrômetro



Fonte: os autores (2019).

Para o monitoramento do consumo de energia elétrica das cargas, utilizou-se o sensor de corrente invasivo ACS712-30A (Figura 16), medindo correntes na faixa  $\pm 30A$ , com sensibilidade de saída em 66mV/A (ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2019), posteriormente calcula-se a potência consumida em kWh/mês.

**Figura 16** – Sensor ACS712-30A



Fonte: os autores (2019).

Feita a devida montagem física do protótipo, para comunicação entre os componentes, e também a programação do microcontrolador presente no *hardware* da plataforma Rádium, com suas bibliotecas específicas, feita no *IDE* do Arduino, para desempenhar a função de controle, monitoramento e sensoriamento do ambiente analisado, os testes foram realizados para validação do projeto.

Foi realizado o acionamento e desligamento das cargas nos momentos certos, mediante um regime determinado de operação. O referido controle é realizado de maneira automatizada, na programação dos Rádios BE900 dos sensores, onde a partir de valores pré-definidos de temperatura, umidade do ar e do solo, o próprio sistema toma as decisões na estufa.

No desenvolvimento do sistema supervisor foram utilizadas tecnologias de desenvolvimento *web*, com o emprego de *HTML*, *PHP*, *JavaScript*, *AJAX*, estilização do sistema com *CSS* (MILETTO; BERTAGNOLLI, 2014), *Bootstrap* (MORETO et al, 2016), tornando o sistema responsivo e acessível a diversos dispositivos. Para o monitoramento em tempo real por meio de gráficos e medidores, foi utilizado o *Google Chart* (DEVELOPERS GOOGLE, 2019), que mostraram os valores lidos pelos sensores. Também foi criado um banco de dados *MySQL* para armazenamento das informações, desenvolvido em linguagem *SQL* (MANZANO, 2011).

No sistema supervisor pode-se realizar manualmente o acionamento e desligamento das cargas, pois, o sistema é dotado de eventos que notificam via e-mail ou mensagem de texto no *smartphone* do operador, por exemplo, quando os sensores atingem os valores pré-

configurados de temperatura, umidade do ar e do solo, que são adequados ao cultivo em determinados momentos do dia, sendo assim, possibilitando maior precisão em suas tomadas de decisão. Cabe ao operador do sistema selecionar a maneira mais adequada de operação do mesmo, se manual ou automática, observando as características da estufa que se estiver aplicando o projeto.

Com o desenvolvimento do sistema supervisorio para monitoramento e controle da estufa, foi possível criar-se a interface de acompanhamento por parte do gestor da estufa (Figura 17).

As telas são: de *login*, inicial, de gráficos de corrente e potência, de medidores de corrente e potência consumida, de cadastramento e de controle manual das cargas. O sistema conta ainda com outras telas, as quais não serão expostas.

O sistema supervisorio *web* é hospedado em servidor *on-line* na internet, onde foram feitos todos os tratamentos das diretivas de segurança contra invasão do mesmo.

**Figura 17 – Telas do sistema supervisório desenvolvido - TEnergy**



Fonte: os autores (2019).

## Resultados e discussão

Inicialmente, para os testes de comunicação entre os módulos base e nó sensor, conectou-se via cabo *USB*, o *UartSBee* ao *notebook*, para gravação dos *firmwares* nos Rádios BE900 via *IDE* Arduino. Com o *software RadiuinoTest*, configurou-se a *COM Port*, que neste caso foi a COM5, que representa a conexão da base ao *notebook*, o *Bit Rate (bit/s)* manteve-se em 9600, conforme *firmware* gravado na base via *IDE*, que possui por padrão na Camada de Rede o endereçamento *my\_addr = 0*.

Para que a base direcione o envio do pacote ao nó sensor, o *bit 8*, que representa o nó sensor de destino, foi alterado para valor 1 (um) no campo (Pacote para enviar) dos 52 *bits* do pacote, e também foi alterado o campo (Repetir pacote a cada (s)) para 1 pacote a cada segundo. No *firmware* que foi previamente gravado no nó sensor, a Camada de Rede foi configurada para *my\_addr = 1*, sendo endereçado com valor 1.

Clicando-se em (Conectar), inicia-se a conexão dos módulos. Ao clicar no botão (Enviar), o teste de envio é inicializado. No campo (Pacote recebido) pode-se observar o pacote com os 52 *bits* sendo recebido pelo nó sensor, mostrando-se assim, a perfeita comunicação em RSSF, validando-se o teste (Figura 18).

**Figura 18** – Base e nó sensor em teste de comunicação com RadiuinoTest



Fonte: os autores (2019).

A criação do protótipo da estufa possibilitou simular e fidelizar as condições existentes no ambiente da mesma, conforme pode ser visto na Figura 19, a esquerda está a estrutura da estufa com as dimensões de 70cm de comprimento, por 40cm de largura, por 50cm de altura, com a colocação dos nós sensores e base do Rádiumino, e a placa de aplicação DK101, em detalhe à direita, os sensores DHT11 e o sensor de umidade do solo (higrômetro), ambos conectados à placa de aplicação DK105.

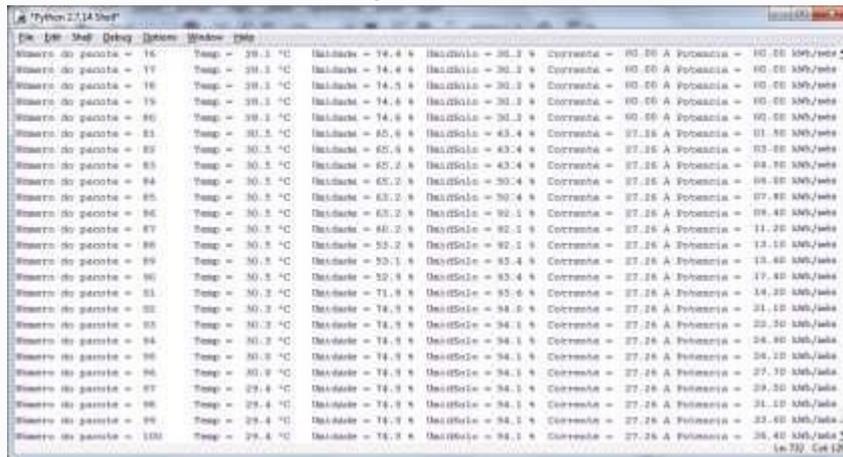
**Figura 19** – Protótipo da estufa com aplicação da RSSF com Rádiumino



Fonte: os autores (2019).

Com os componentes instalados no protótipo, feitas as devidas configurações de base e nó sensor, no *IDE* de programação, com a base conectada ao *notebook*, utilizou-se um *script* em *Python*, que é a linguagem de programação que fornece a estrutura para que se faça a leitura das grandezas monitoradas pelos sensores (Figura 20), e o controle dos atuadores. Ele simplesmente aciona o protocolo Rádiumino, tomando sempre a iniciativa, escrevendo o pacote de 52 *bytes* na porta serial e a base transmite o mesmo.

**Figura 20** – Tela de resultado da execução do *script* Python



Número do pacote	Temp	Umidade	Distância	Corrente	Consumo
16	39.3 °C	14.4 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
17	39.3 °C	14.5 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
18	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
19	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
20	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
21	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
22	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
23	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
24	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
25	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
26	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
27	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
28	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
29	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
30	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
31	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
32	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
33	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
34	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
35	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
36	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
37	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
38	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
39	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
40	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
41	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
42	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
43	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
44	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
45	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
46	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
47	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
48	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
49	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
50	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
51	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
52	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
53	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
54	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
55	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
56	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
57	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
58	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
59	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
60	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
61	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
62	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
63	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
64	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
65	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
66	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
67	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
68	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
69	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
70	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
71	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
72	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
73	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
74	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
75	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
76	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
77	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
78	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
79	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
80	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
81	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
82	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
83	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
84	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
85	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
86	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
87	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
88	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
89	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
90	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
91	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
92	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
93	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
94	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
95	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
96	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
97	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
98	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
99	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês
100	39.3 °C	14.6 %	30.2 m	90.00 A	90.00 kWh/mês

Fonte: os autores (2019).

Feita a comunicação do protótipo com o sistema *web* desenvolvido, os mesmos funcionaram satisfatoriamente, demonstrando a aplicabilidade para a gestão dos parâmetros vitais as plantas cultivadas, e o controle no consumo de energia de maneira *on-line*, pois, todas as leituras medidas pelos nós sensores são transmitidas via radiofrequência para a base do ambiente Rádiumino, e encaminhadas ao banco de dados, que armazena as informações para análises e relatórios posteriores, por parte do usuário.

Com relação ao controle dos atuadores, como no ambiente possui uma rotina aleatória de acionamento e desligamento da eletrobomba e do exaustor, que somam a potência de aproximadamente 3000W, para a simulação, sem a implementação da proposta do projeto, define-se uma média de tempo de uso diário de 6 horas, o que resulta em um consumo de energia elétrica bastante elevado, em torno de 540 kWh/mês.

Com a implantação da proposta do projeto, que trata do controle de demanda em estufas baseado na plataforma Rádiumino, com conceitos da *IoT*, criou-se um regime de acionamento e desligamento das cargas, mediante a parametrização dos valores padrões medidos pelos sensores, que fazem o monitoramento do ambiente da prototipagem.

Com a realização das simulações com o protótipo, envolvendo a análise das mesmas cargas de 3000W, chegou-se a definição média do tempo de uso diário de 4 horas, determinando assim um consumo de 360 kWh/mês. O resultado obtido demonstra uma economia de energia de

aproximadamente 33% em relação ao consumo sem a RSSF. Ficando caracterizado que com um consumo controlado, evita-se que as cargas fiquem ligadas por tempo desnecessário, o que gera eficiência energética.

Apesar de o sistema supervisor *web* dispor de operação manual, o processo passou a ser autônomo na coleta e encaminhamento dos dados dos sensores, cabendo aos produtores o acompanhamento e manutenção local de outras rotinas que envolva uma estufa de cultivo. Ressalta-se que os elementos da plataforma Rádiuino, bem como os sensores que são dispositivos discretos, não influenciam no ambiente de aplicação.

A contribuição efetiva do projeto para a sociedade é evidente, pois, com a automação desta estufa de cultivo, evitando-se os desperdícios de energia, concomitantemente, da água utilizada para irrigação, oferece-se uma qualidade melhor de vida às plantas cultivadas, tornando o ambiente mais sustentável.

Além disso, na busca por soluções de automação eficientes e de baixo custo, a plataforma Rádiuino apresenta-se viável e com uma ótima relação custo-benefício. Quanto à programação e configuração do *software* ou *firmware* utilizado no projeto, a responsabilidade é do desenvolvedor da solução implantada no local, observadas as peculiaridades do ambiente, como as dimensões da estufa, quantidade e o tipo das cargas existentes, tipo de cultivo, região, temperatura, umidade, tipo de solo, etc.

Mediante análise destes e outros fatores, será possível a implantação da solução com dispositivos mais adequados e de custo reduzido, primando pela eficiência no funcionamento do projeto e garantindo a sobrevivência das plantas cultivadas.

Com estes resultados, é notória a viabilidade do projeto de automação dos processos de cultivo, pois, à medida que se monitora melhor o ambiente protegido, a qualidade do que se estiver produzindo é elevada, além de que os recursos financeiros gastos com energia elétrica e água são reduzidos drasticamente.

## Conclusão

Com a ideia de suprir a necessidade de se automatizar processos, surge a abordagem da implementação de sistemas, motivada pelo emprego da teoria da *IoT*, para gerar o controle esperado, proporcionando melhorias em toda cadeia produtiva para os agricultores, criando um ambiente monitorado, que fornece condições ideais para o cultivo em estufas, onde em sua estrutura é possível um plantio sustentável.

Devido à alta complexidade e a limitada flexibilidade dos protocolos utilizados nas tecnologias da área da comunicação, as RSSF, encontram limitações em certas aplicações, pois, as características nativas das camadas da pilha de protocolos não podem ser alteradas, sendo assim, cada plataforma necessita de programadores exclusivos e que sejam gerenciáveis, em termos estruturais e de acesso. O Rádiumo soluciona este problema, pois é uma plataforma livre para implementação das RSSF.

Empregando-se a plataforma Rádiumo, em simulações feitas em laboratório, foi possível realizar a leitura das grandezas monitoradas pelos sensores e operar os atuadores destinados a controlar o acionamento e desligamento das cargas, conseqüentemente, controlar a demanda de energia necessária ao funcionamento das mesmas. A simulação do acionamento das cargas envolveu um circuito pré- amplificador, composto por uma bateria e um resistor, com a finalidade de se criar um parâmetro de cálculo, estipulando a corrente necessária para ativação do contator responsável pela operação das cargas.

Como este sistema conecta a estufa à *IoT*, para que a mesma possa ser monitorada em tempo real, o supervisor é acessível de qualquer dispositivo com acesso à internet, permitindo o controle da demanda de energia consumida no interior da mesma, baseado em valores dos parâmetros vitais as plantas, fixados para manter o ambiente estabilizado de acordo com o cultivo, definindo o melhor momento a se acionar as cargas presentes na mesma, que fazem parte do conjunto de equipamentos do ambiente produtivo, como eletrobomba, exaustores, etc., tudo sendo realizado de maneira autônoma, mas também com a possibilidade de operação manual, onde, por meio de notificações recebidas por e-mail ou mensagem de texto no *smartphone* do operador,

pode ser realizado o monitoramento e controle do ambiente em questão.

Apesar de se tratar de um protótipo, a proposta possui potencialidade de automatizar processos, proporcionando maior controle e gestão, controlando melhor a demanda de energia das cargas existentes, evitando desperdícios, elevando a eficiência energética da estufa, além de reduzir os gastos aos produtores. Como constatado, mediante o regime de acionamento e desligamento das cargas, o sistema supervisor *web* apresenta-se funcional e aplicável no monitoramento energético, evidenciando que automatizar com recursos *IoT*, são inúmeros os benefícios conquistados.

## Referências

ABESCO (Brasil). Desperdício de energia atinge R\$ 61,7 bi em três anos. **Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia**, 2017. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/novidade/desperdicio-de-energia-atinge-r-617-bi-em-tres-anos/>. Acesso em: 26 out. 2019.

A CASA DO AGRICULTOR. **Eletrobomba Schneider 3cv Me AI 1630 Mono**, 2019. Disponível em: [http://www.acasadoagricultor.com.br/index.php?route=product/product&product\\_id=918&search=estufa&description=true&page=2](http://www.acasadoagricultor.com.br/index.php?route=product/product&product_id=918&search=estufa&description=true&page=2). Acesso em: 26 out. 2019.

ALLEGRO MICROSYSTEMS. **Sensor de corrente invasivo ACS712**, 2019. Disponível em: <https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/0712.pdf>. Acesso em: 26 out. 2019.

ALMEIDA, D. **Sensor de umidade do solo com Arduino – Higrômetro**, 2017. Disponível em: <https://portal.vidadesilicio.com.br/sensor-de-umidade-do-solo-higrometro/>. Acesso em: 05 maio 2019.

ANEEL (Brasil). Tarifa branca é nova opção para os consumidores a partir de 2018. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Assessoria de imprensa, 2017. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-asset\\_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/tarifa-branca-e-nova-opcao-para-os-consumidores-a-partir-de-2018/656877?inheritedRedirect=false](http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/tarifa-branca-e-nova-opcao-para-os-consumidores-a-partir-de-2018/656877?inheritedRedirect=false). Acesso em: 06 maio 2019.

BRANQUINHO, O. **Radiuino**, 2019. Disponível em: <http://radiuino.cc/>. Acesso em: 06 maio 2019.

DEVELOPERS GOOGLE. **Página de desenvolvedores Google: Google Charts**, 2019. Disponível em: <https://developers.google.com/chart/>. Acesso em: 05 maio 2019.

D-ROBOTICS. **DHT 11 Humidity & Temperature Sensor**, 2019. Disponível em: <https://datasheet4u.com/datasheet-parts/DHT11-datasheet.php?id=785590>. Acesso em: 26 out. 2019.

FERRONI, E. H. **Protótipo de um controle de demanda de energia baseado em sistemas supervisório e rede de sensores sem fio**. 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de São João Del Rei, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, São João Del Rei, MG, 2013.

IOTOOLS ACADEMY. **Escola Online IoT**, 2019. Disponível em: <https://iotoools-academy.coursify.me>. Acesso em: 08 maio 2019.

MANZANO, J. A. N. G. **MySQL 5.5 interativo: guia essencial de orientação e desenvolvimento**. São Paulo: Érica, 2011.

MILETTO, E. M.; BERTAGNOLLI, S. de C.. **Desenvolvimento de Software II: Introdução ao Desenvolvimento Web com HTML, CSS, JavaScript e PHP**. Porto Alegre, RS: Bookman, 2014.

MORETO, S. et al. **Bootstrap 4 – Responsive Web Design**. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2016.

SCHNEIDER. **Contator Modular ACTI9 ICT25A 1NA 127/VCA 60Hz**, 2019. Disponível em: <https://www.se.com/br/pt/product/A9C20431/contator-modular-acti9-ict25a-1na-127-vca-60hz/>. Acesso em: 04 nov. 2019.

SICFLUX. **Exaustor Axial Maxx 150Mm 127V**, 2019. Disponível em: <https://www.sicflux.com.br/produto/85/maxx-150/>. Acesso em: 26 out. 2019.

SPARKFRUIT. **Resistor de 5KΩ**, 2019. Disponível em: <https://sparkfruit.ph/>. Acesso em: 26 out. 2019.

WENDLING, M. **Amplificadores Operacionais**, 2010. Disponível em:

<https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/3---amplificadores-operacionais-v2.0.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2019.