

Ricardo Bruno Ferreira da Silva
Orientador: Prof. Dr. Francisco Airton Pereira da Silva

SISMAC: Um Sistema para o Monitoramento de Colmeias em Tempo Real

Picos - PI
Junho de 2018

Ricardo Bruno Ferreira da Silva
Orientador: Prof. Dr. Francisco Airton Pereira da Silva

SISMAC: Um Sistema para o Monitoramento de Colmeias em Tempo Real

Monografia submetida ao Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Universidade Federal do Piauí
Campus Senador Helvídio Nunes de Barros
Bacharelado em Sistemas de Informação

Picos - PI
Junho de 2018

FICHA CATALOGRÁFICA
Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí
Biblioteca José Albano de Macêdo

S586s Silva, Ricardo Bruno Ferreira da.
SISMAC: um sistema para o monitoramento de colmeias em tempo real. / Ricardo Bruno Ferreira da Silva. – 2018.
45 f.
CD-ROM : il.; 4 ¾ pol.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Sistemas de Informação) – Universidade Federal do Piauí, 2018.

Orientador(A): Prof. Dr. Francisco Airton Pereira da Silva.

1. Monitoramento – Sistema. 2. Apicultura. 3. Análise de Sensibilidade. 4. Apis Melifera. 5. Design of Experiments. I. Título.

CDD 005

RICARDO BRUNO FERREIRA DA SILVA

SISMAC: UM SISTEMA PARA MONITORAMENTO DE COLMEIAS EM TEMPO
REAL

Monografia aprovada como exigência parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Sistemas de Informação.

Data de Aprovação

Picos – PI, 19 de junho de 2018

Francisco Ailton P. da Silva

Prof. Dr. Francisco Ailton Pereira da Silva
Orientador

Deborah Maria Vieira Magalhães

Profª. Dra. Deborah Maria Vieira Magalhães
Membro

Glauber Dias Gonçalves

Prof. Dr. Glauber Dias Gonçalves
Membro

Agradecimentos

Primeiramente quero agradecer a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

A Universidade Federal do Piauí, pela oportunidade de fazer o curso.

A Cooperativa dos Apicultores de Várzea Isaías Coelho-PI pelo suporte dado neste trabalho.

Ao professor Dr. Francisco Airton, pela orientação, apoio e confiança. Também sou grato ao professor Ms. Francisco Imperes e a todos os outros professores do curso, que com muita dedicação, ensinaram-me não somente o conteúdo programado, mas também o sentido da amizade e do respeito.

A toda minha família em especial a meu Pai José Pedro minha Mãe Francisca, minha irmã Iara e meus avôs Conceição, Elira, Pedro e Leonidas. Pelo amor, incentivo, força e apoio incondicional.

Aos meus amigos Ivan, Rodrigo, Vitorio, Aguiar, José Elias, Auricelha, Francilene, Gilliana, Vambia, Cledivan, Francisco, Teresa Cristina, Nazaré, Eliane, Cidronio, Fernando, Anderson, Júnior, Vinícius e Ramon irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

*"Não é digno de saborear o mel
aquele que se afasta da colmeia
por medo das picadas das
abelhas."*

William Shakespeare

Resumo

A apicultura é uma atividade sustentável, de fácil manutenção e de baixo custo que movimentou um mercado bastante rentável, gerando milhares de empregos no Brasil. As abelhas são os insetos explorados nessa atividade, com importância vital para a agricultura global, fornecendo segurança alimentar. Porém as abelhas são insetos sensíveis a mudanças em seu habitat, isso pode provocar o abandono das colmeias causando perdas aos apicultores. Tentando amenizar essas perdas esse trabalho desenvolveu o protótipo de um sistema para monitoramento das colmeias de abelhas, denominado SISMAC. O sistema é composto por uma aplicação *web* e *mobile* (Android), mecanismo de alerta através do mensageiro Telegram e um módulo de monitoramento instalado na colmeia. Para verificar a acurácia do sistema foi feita uma análise de sensibilidade através do método planejamento de experimentos (DoE) e os resultados proporcionaram a melhor configuração para instalação do sistema na colmeia. O sistema funcionou normalmente por 17 horas consecutivas em um ambiente real. Concluindo-se que é viável a utilização de tecnologias como o SISMAC na apicultura.

Palavras-chaves: Apicultura. Monitoramento. *Apis Melifera*. Análise de Sensibilidade. *Design of Experiments*.

Abstract

Beekeeping is a sustainable, easy-to-maintain, and low-cost activity that stimulates a very profitable market, which makes thousands of jobs feasible in Brazil. Bees are the insects used in this activity, having vital importance by providing food. However, bees are very sensitive to changes in their habitat, which may lead them to abandon their hives and cause losses to beekeepers. To alleviate this problem, this work has developed a prototype to a system for monitoring beehives, named SISMAC. The system consists of a web interface, a mobile application (Android), an alert mechanism that uses Telegram messenger, and a monitoring module installed in the hive. To verify the accuracy of the system, a sensitivity analysis was performed using the Design of Experiments method and the results provided the best configuration for the installation of the system inside the beehive. The system worked well for 17 consecutive hours in a real environment, showing that it is viable to use monitoring products such as SISMAC in beekeeping.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Sensores de Temperatura Utilizados	19
Figura 2 – Sensores de Umidade Utilizados	20
Figura 3 – Arduino Mega	20
Figura 4 – Arduino Ethernet Shield w5100	21
Figura 5 – Diagrama de Interação dos Módulos do SISMAC	26
Figura 6 – Aplicação <i>Web</i>	27
Figura 7 – Aplicação <i>Mobile</i>	28
Figura 8 – Telegram	28
Figura 9 – Colmeia Langstroth Utilizada	30
Figura 10 – Influências dos Fatores na Acurácia (Temperatura).	31
Figura 11 – Boxplot Posição do Sensor (Temperatura)	32
Figura 12 – Boxplot Tipo de Sensor (Temperatura)	32
Figura 13 – Boxplot Período do Dia (Temperatura)	33
Figura 14 – Boxplot Presença de Própolis (Temperatura)	33
Figura 15 – Acurácia Média (Temperatura)	34
Figura 16 – Influências dos Fatores na Acurácia (Umidade).	35
Figura 17 – Boxplot Posição do Sensor (Umidade)	35
Figura 18 – Boxplot Proteção (Umidade)	36
Figura 19 – Boxplot Tipo de Sensor (Umidade)	36
Figura 20 – Boxplot Período do Dia (Umidade)	37
Figura 21 – Acurácia Média (Umidade)	37
Figura 22 – Módulo de Monitoramento	38
Figura 23 – Colmeia Utilizada na Validação	39
Figura 24 – Histórico de Temperatura	40
Figura 25 – Histórico de Umidade	40

Lista de tabelas

Tabela 1 – Trabalhos Relacionados	25
Tabela 2 – Fatores e Níveis Temperatura	29
Tabela 3 – Fatores e Níveis Umidade	29
Tabela 4 – Combinações para Temperatura	30
Tabela 5 – Combinações para Umidade	30
Tabela 6 – Combinações para Temperatura	34
Tabela 7 – Combinações para Umidade	38

Lista de abreviaturas e siglas

ABMEL	Associação Brasileira dos Exportadores de Mel.
API	<i>Application Programming Interface</i> (Interface de Programação de Aplicações).
CSS	<i>Cascades Style Sheets</i> (Folhas de Estilo em Cascata).
DoE	<i>Design of Experiments</i> (Planejamento de Experimentos).
HTML	<i>Hyper Text Markup Language</i> (Linguagem de Marcação de Hipertexto).
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i> (Protocolo de Transferência de Hipertexto).
HTTPS	<i>Hyper Text Transfer Protocol Secure</i> (Protocolo de Transferência de Hipertexto Seguro).
IDE	<i>Integrated Programming Environment</i> (Ambiente de desenvolvimento integrado).
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas).
ITU	<i>International Telecommunication Union</i> (União Internacional de Telecomunicações).
SISMAC	Sistema de Monitoramento Automático de Colmeias.

Lista de símbolos

α	Alpha
$^{\circ}\text{C}$	Celsius
\pm	Mais ou Menos
$\%$	Porcentagem
<i>Km</i>	Quilômetro

Sumário

1	Introdução	14
1.1	Contexto e Problema	15
1.2	Objetivos	15
1.2.1	Objetivo Geral	15
1.2.2	Objetivos Específicos	15
1.3	Organização do Trabalho	15
2	Referencial Teórico	16
2.1	Apicultura	16
2.1.1	Abelha <i>Apis Mellifera</i>	16
2.1.2	Termoregulação	16
2.2	Monitoramento de Colmeias	17
2.3	Internet das Coisas	17
2.4	Análise de Sensibilidade	18
2.4.1	Planejamento de Experimentos	18
2.5	Tecnologias Utilizadas	19
2.5.1	Sensores de Temperatura	19
2.5.2	Sensores de Umidade	19
2.5.3	Arduino	20
2.5.4	Arduino Ethernet Shield w5100	21
2.5.5	Linguagens de Programação	21
2.5.6	Plataformas	22
3	Trabalhos Relacionados	23
4	Desenvolvimento	26
4.1	Sistema de Monitoramento Automático de Colmeias	26
4.1.1	Aplicação Web	27
4.1.2	Aplicação Mobile	27
4.1.3	Notificação	28
4.2	Análise de Sensibilidade no SISMAC	29
4.2.1	Planejamento	29
4.2.2	Coleta dos Dados	29
4.2.3	Análise de Dados para Temperatura	30
4.2.4	Análise de Dados para Umidade	34
4.3	Validação do Sistema	38

4.3.1	Módulo de Monitoramento	38
4.3.2	Monitoramento	39
5	Conclusão	41
6	Publicações	42
	Referências	43

1 Introdução

As abelhas são os polinizadores mais importantes para as culturas que dependem da polinização animal para a produção. Juntas, essas culturas representam 35% da produção global de alimentos. Por isso, esses insetos são vitais para uma agricultura econômica e sustentável e para a segurança alimentar. Além disso, as abelhas também polinizam uma variedade de flores silvestres e, portanto, contribuem para a biodiversidade de muitos ecossistemas. Devido a esse crucial papel desempenhado pelas abelhas, as perdas severas e inexplicáveis de colônias de abelhas ao redor do mundo, recentemente relatadas, atraíram muita atenção e estimularam muitas atividades de pesquisa (ROLKE et al., 2016).

Para colocar isso em números: culturas que são independentes da polinização animal representam 65% da produção global de alimentos, deixando até 35% dependente da polinização dos animais, dos quais 90% são realizadas por abelhas do gênero *Apis Mellifera* (espécie utilizada neste estudo). Portanto, embora a humanidade não morra se as abelhas forem extintas, elas ainda são polinizadores muito importantes em todo o mundo, pois garantem que a dieta humana não seja muito empobrecida (ROLKE et al., 2016).

As abelhas são insetos sensíveis as mudanças em seu habitat. Fatores como seca, falta de alimento, doenças, temperaturas altas ou baixas podem interferir diretamente na produção delas. As próprias abelhas realizam a regulação de temperatura dentro da colmeia, no entanto, se as temperaturas forem muito altas ou muito baixas, as abelhas deixam as colmeias em um processo conhecido como enxameação por abandono (BASTOS, 2016).

De acordo com dados da Associação Brasileira dos Exportadores de Mel (ABEMEL), o Brasil foi um grande produtor de mel, chegando a ocupar a 4ª posição no *ranking* mundial de exportação em 2009. Segundo Martins e Magalhães (2015), a falta de chuvas regulares nos últimos anos na região Nordeste afetou fortemente a produção e reduziu em 52,1% a exportação regional, e em 26,2% a produção nacional.

Isso fez com que o país chegasse a cair sete posições no *ranking* até 2013, passando a ocupar a 11ª posição, ocupando atualmente a 9ª posição. Percebe-se com esses dados o quanto a produção apícola nacional é sensível a alterações climáticas. Essa estatística poderia ser amenizada com o uso de técnicas mais modernas de manejo e inovações tecnológicas no setor.

Para Murphy et al. (2015), as tecnologias podem ser usadas para monitorar as colmeias em termos de temperatura, umidade e outras variáveis. Por exemplo, é possível identificar problemas de colônia, evitando a enxameação das abelhas. A Internet das Coisas (*Internet of Things* — IoT) é um paradigma que interconecta a inteligência com o monitoramento sensorial aplicado recentemente na apicultura, como nos trabalhos de Meitalovs et al. (2009), Eskov e Toboev (2011), Sombra et al. (2013), Stalidzans e Berzonis (2013).

1.1 Contexto e Problema

Este trabalho tenta atenuar as perdas dos apicultores através de um sistema para monitoramento de temperatura e umidade em tempo real nas colmeias. Usando também o método de planejamento de experimentos, do inglês (*Design of Experiments* - DoE) combinando algumas configurações de sensores para realizar uma análise de sensibilidade sobre o impacto dos fatores na precisão da temperatura e umidade medidos pelos sensores na colmeia. Com isso, busca-se identificar a melhor configuração do módulo de monitoramento para esse sistema.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um sistema de monitoramento de temperatura e umidade de colmeias visando tornar o manejo das abelhas mais eficiente.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Implementação de um módulo baseado em sensores para monitorar a temperatura e umidade das colmeias.
2. Prover um mecanismo para alertar os apicultores quando as colmeias necessitarem de mais cuidado.
3. Criação de um sistema *Mobile* e *Web* para o apicultor acompanhar a saúde das colmeias.
4. Realizar uma análise de sensibilidade sobre o impacto dos fatores na precisão do sistema proposto.

1.3 Organização do Trabalho

O restante deste trabalho está organizado nos seguintes capítulos: o Capítulo 2 (Referencial Teórico) apresenta uma visão geral sobre os conteúdos abordados nesse trabalho; o Capítulo 3 (Trabalhos Relacionados) apresenta outros trabalhos que falam de monitoramento de colmeias; o Capítulo 4 (Desenvolvimento) apresenta o sistema proposto e o funcionamento de seus módulos, bem como a análise de sensibilidade realizada sobre ele e, por fim, o Capítulo 5 (Conclusão) apresenta as considerações finais, a contribuição e trabalhos futuros.

2 Referencial Teórico

Neste capítulo será apresentado uma visão geral sobre o que é a apicultura e as abelhas *Apis Mellifera*, bem como sua importância. Abordando também a IoT, as tecnologias utilizadas no trabalho e o monitoramento de colmeias. Este capítulo ainda trata da análise de sensibilidade e sua importância em várias áreas.

2.1 Apicultura

A apicultura (técnica de criar abelhas) é um tripé da sustentabilidade: social, econômico e ambiental. Isso porque é uma atividade que gera ocupação no campo e proporciona renda para quem resolve explorá-la comercialmente sem que haja consequências para o ecossistema, tornando ela uma atividade sustentável (SANTOS; RIBEIRO, 2009). No Brasil, a apicultura forma uma cadeia produtiva composta por mais de 300 mil apicultores e uma centena de unidades de processamento de mel, que juntos empregam, temporária ou permanentemente, quase 500 mil pessoas (BACAXIXI et al., 2011).

2.1.1 Abelha *Apis Mellifera*

As abelhas do gênero *Apis Mellifera*, objeto de estudo deste trabalho, São insetos de origem africana que se adaptam facilmente a diferentes ambientes (OLIVEIRA, 2010). No Brasil, esses insetos se adaptaram muito bem às condições climáticas. As abelhas do gênero *Apis Mellifera* são as únicas disponíveis mundialmente em larga escala para a polinização, garantindo a manutenção de plantas e animais (OLIVEIRA; CUNHA, 2005).

As abelhas têm o mel como principal produto, mas também produzem cera, pólen e própolis. A cera é benéfica na produção de produtos farmacêuticos, cosméticos e lentes telescópicas; já o pólen é usado como suplemento alimentar composto de vitaminas, minerais, fibras e outros compostos. A própolis, por sua vez, é uma mistura complexa, formada por material resinoso coletado pelas abelhas dos ramos, flores, pólen e brotos, que é então misturada às secreções salivares das abelhas. A própolis é usada pelas abelhas para proteger a colônia do lado de fora, e também é explorada pelos seres humanos para a fabricação de remédios (PEREIRA; SEIXAS; NETO, 2002).

2.1.2 Termoregulação

As abelhas têm seu metabolismo e atividade influenciados pela temperatura corpórea, que por sua vez, é quase inteiramente dependente da temperatura do ambiente. Temperaturas baixas normalmente dificultam a atividade, enquanto que altas temperaturas

estimulam o animal (ALMEIDA, 2008). De acordo com Kridi, Carvalho e Gomes (2014), esses insetos são excelentes termorreguladores, conseguindo manter a temperatura dentro da colmeia entre 33 e 36 graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), sendo essa faixa de temperatura ideal para que a postura da rainha, o desenvolvimento das larvas e o acúmulo de mel não sejam prejudicados. Porém, segundo Almeida (2008), quando a temperatura atinge 41°C na colmeia, as abelhas a abandonam. No entanto, as abelhas só o fazem após longa exposição à essas altas temperaturas, comprovando que a termorregulação é umas das atividades mais importantes para a permanência das abelhas em um local.

A termorregulação também é importante para que as abelhas mantenham as propriedades essenciais do mel através de um controle rigoroso da umidade interna na colmeia que deve ficar entre 45% e 55% de umidade, fazendo com que a umidade do mel não ultrapasse 20%, influenciando no tempo de maturação, no sabor, na conservação e em sua palatabilidade (ESKOV; TOBOEV, 2011).

2.2 Monitoramento de Colmeias

O monitoramento de colmeias permite ao apicultor o acompanhamento contínuo e sistemático das variáveis ambientais dentro da colmeia, tendo como objetivo identificar e avaliar as condições dos recursos naturais em um determinado momento ou ao longo do tempo. O monitoramento de colmeias permite, ainda, compreender melhor a relação das ações do apicultor em suas colmeias (MAGALHÃES, 2012).

Sistemas de monitoramento modernos podem fornecer ao apicultor dados em tempo real e informações sobre parâmetros importantes de uma colmeia. Com base nessas informações, o apicultor pode tirar conclusões e, em caso de necessidade, tomar medidas para obter uma maximização da produção da colmeia. Tendo isso em vista, novas tecnologias podem ser facilmente aplicada na apicultura para medir parâmetros necessários de uma colmeia (KRIDI; CARVALHO; GOMES, 2014)

2.3 Internet das Coisas

Em 2012 a União Internacional das Telecomunicações (*International Telecommunication Union – ITU*)¹ criou a recomendação ITU-T Y.2060, que apresenta uma visão geral para IoT. Tal recomendação define a IoT como uma infraestrutura global que permite serviços avançados através da interligação de coisas (físicas e virtuais), com base em informações já existentes e tecnologias de comunicação. A internet das coisas cresce em ritmo acelerado com previsões para que o número de dispositivos conectados até 2025 chegue à mais de 75 bilhões (COLUMBUS, 2016).

¹ <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I>

A IoT pode gerar um grande impacto em todas as áreas, incluindo eletrônica de consumo, saúde, e de maneira transversal, na forma como a sociedade consome informação. Com a IoT as informações podem ser acessadas a qualquer momento e de qualquer lugar através de *Internet*, através de tecnologias de rede, a IoT compõe-se de dispositivos heterogêneos conectados à rede (DIMITROV, 2016).

2.4 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade, consiste num estudo que tem por objetivo determinar o grau de variação dos resultados e dos indicadores de viabilidade de um determinado projeto face a alterações nas variáveis de entrada determinando a viabilidade do projeto. A análise de sensibilidade permite, desta forma, traçar diversos cenários no projeto e verificar até que ponto a sua viabilidade se mantém face a alterações, com diversos graus de intensidade, nas suas variáveis mais importantes (LIMA, 2011).

Aplicada inicialmente nas finanças a análise de sensibilidade se espalhou em muitas outras áreas, tais como Sociologia, Recursos Humanos, Auditoria, Contabilidade, Engenharia, Economia, Medicina e Estatística. Na análise de sensibilidade, devem ser destacadas as variações proporcionais de cada variável, ou seja, quanto uma variável tem que oscilar para provocar uma determinada alteração na variável de saída (MATTOS; VASCONCELOS, 1989).

2.4.1 Planejamento de Experimentos

Os métodos tradicionais podem ser considerados eficientes nas análises de sensibilidades individuais, ou em situações de variações conjuntas (cenários), porém a questão da interação entre as variáveis não é relevada. Em situações reais, muito pouco se pode concluir observando variações individuais. Pode existir uma grande relação de dependência entre variáveis, o que torna necessária a busca de um método mais eficiente para sua modelagem esse método pode ser o DoE (ANDERSON; WHITCOMB, 2000).

O DoE é um método utilizado para se planejar experimentos, ou seja, para definir quais dados, em que quantidade e em que condições devem ser coletados, durante um determinado experimento, buscando basicamente satisfazer dois grandes objetivos: a maior precisão estatística possível na resposta e o menor custo. O DoE é, portanto, uma técnica de extrema importância, pois, seu emprego permite resultados mais confiáveis, economizando dinheiro e tempo. O DoE fornece as ferramentas para criação de planejamentos de experimentos e análise gráfica de resultados e na melhoria de processos, de maneira rápida e eficiente (MINITAB, 2017).

DHt22: O sensor DHT22 Figura 2 (b) também faz parte dos sensores de umidade deste projeto, ele permite medições entre 0 a 100%, assim como o DHT11, ele também permite a medição de temperatura. É um sensor com baixo consumo de corrente, e que possui internamente um sensor de umidade capacitivo e um termistor, além de um conversor analógico/digital para comunicação com o microcontrolador.

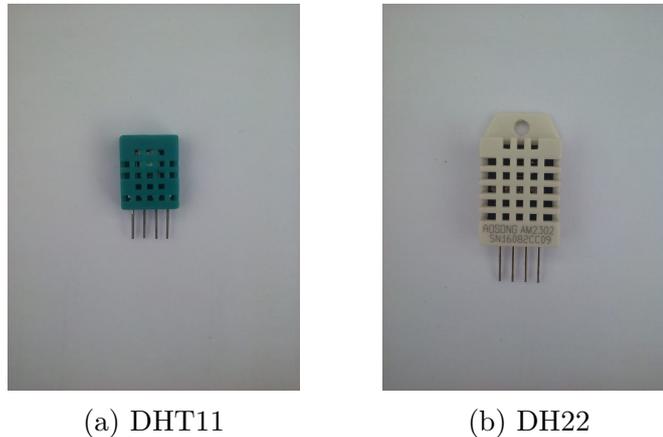


Figura 2 – Sensores de Umidade Utilizados

2.5.3 Arduino

O *Arduino*² é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto, formado por um *hardware* (placa Arduino) como pode ser visto na Figura 3, e um ambiente de programação integrado (*Integrated programming environment* - IDE). De acordo com o site oficial O *Arduino* ficou bem popular para o desenvolvimento de produtos IoT, onde vários engenheiros, estudantes, desenvolvedores e fabricantes de todo o mundo usam o *Arduino* para inovar em casas inteligentes, agricultura, veículos autônomos e entre outros.

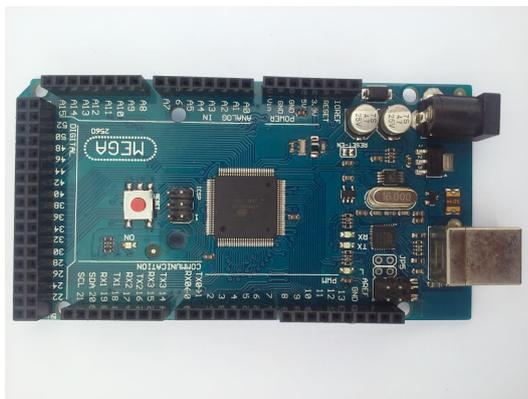


Figura 3 – Arduino Mega

² <https://www.arduino.cc/>

2.5.4 Arduino Ethernet Shield w5100

O *Arduino Ethernet Shield w5100*³ Figura 4 permite a conexão de uma placa Arduino com a internet. Suportando até quatro conexões de soquete simultâneas. Para utilização dessa placa é necessária a biblioteca *Ethernet*. A *Ethernet Shield* se conecta a uma placa *Arduino* usando pinos e soquetes. O *Arduino Ethernet Shield* tem como principal conexão o RJ-45, que usa um cabo de rede, para ser ligado ao um computador ou ao um roteador. A placa possui ainda um *slot* para um cartão de memória, que pode ser usado para armazenar arquivos para usar através da rede.

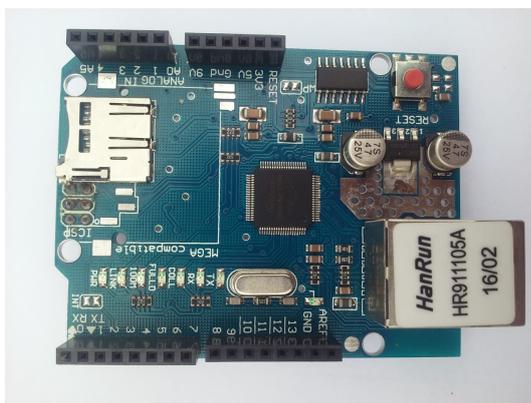


Figura 4 – Arduino Ethernet Shield w5100

2.5.5 Linguagens de Programação

HTML O HTML⁴ (*HyperText Markup Language*) é a base da estrutura de toda página web, é uma linguagem de marcação utilizada para desenvolvimento de projetos web. O HTML é formado por tags que são utilizadas para informar ao navegador como deve ser apresentado o website.

CSS O CSS⁵ (*Cascades Style Sheets*) descreve o estilo de um documento HTML, ou seja, define como os elementos serão exibidos na tela. O principal benefício do CSS é a separação entre o formato e o conteúdo de um documento HTML.

JavaScript O JavaScript é uma linguagem de *script* orientada a objetos, multiplataforma, pequena e leve. Dentro de um ambiente de *host* o JavaScript pode ser ligado aos objetos deste ambiente para prover um controle programático sobre eles. O núcleo do JavaScript pode ser estendido para uma variedade de propósitos como cliente ou servidor complementando assim a linguagem (FLANAGAN, 2006).

³ <https://bit.ly/2Hbgn80>

⁴ <https://www.w3schools.com/html/default.asp>

⁵ <https://www.w3schools.com/css/default.asp>

2.5.6 Plataformas

Thinger IO Thinger IO⁶ é a plataforma de código aberto para a IoT, essa plataforma coleta dados de aplicativos, sensores e redes sociais. Através da IoT a Thinger IO, pode oferecer acesso à uma ampla gama de plataformas de prototipagem como Arduino, Raspberry e Sigfox. A Thinger IO tem como principal vantagem a coleta primária e de dados, dos sensores conectados diretamente a ela. A Thinger IO pode utilizar tanto o HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) como o HTTPS (*Hyper Text Transfer Protocol Secure*) para transferencia dos valores coletados.

Keen IO O Keen IO⁷ é uma plataforma de armazenamento e análise que permite aos desenvolvedores realizarem análises enviadas a partir de diversas fontes (sites, aplicativos, plataformas). Um das principais vantagens do keen IO são as suas *Application Programming Interfaces* (APIs) que permitem ao desenvolvedor transmitir, analisar, exibir e proteger dados. Dentre as linguagens que podem ser utilizadas no Keen IO estão JavaScript, Ruby, Python, PHP, Java e Objective-C.

Telegram O Telegram⁸ é um aplicativo de mensagens para *smartphones* que tem como objetivo enviar e receber mensagens de texto e imídia de e para usuários individuais. Existem muitos aplicativos de mensageiros, mas o que o diferencia é a possibilidade de criação de *bots*. Onde a partir destes *bots* pode-se enviar notificações para um usuário ou um grupo de usuários de forma totalmente gratuita. Os *bots* são criados através de uma API fornecida pelo próprio Telegram, Essa API suporta as linguagens de programação Phytom, Java, C, C++ e Lua.

⁶ <https://thinger.io/>

⁷ <https://keen.io/>

⁸ <https://telegram.org/faq>

3 Trabalhos Relacionados

Este capítulo apresenta alguns trabalhos produzidos acerca do monitoramento de colmeias de abelhas. Na apresentação dos trabalhos foi destacado as correlações com o trabalho proposto bem como as diferenças encontradas.

Meitalovs et al. (2009) desenvolveram um sistema de monitoramento de colmeias para reconhecer condições de pré-aquecimento de uma colônia de abelhas. Para isso, os autores propuseram a colocação de alguns sensores em colmeias permitindo a descoberta de razões particulares na mudança da colmeia. No sistema, os sensores enviavam os dados coletados para um computador, que os armazenava no Microsoft Access de onde o usuário poderia visualizá-los. Os autores concluíram que o sistema era capaz de detectar o super aquecimento de uma colmeia dado a velocidade de mudanças de temperatura relativamente baixa dentro da mesma. Destacando ainda que o sistema poderia ser facilmente usado em escala pelos apicultores.

O trabalho de Meitalovs et al. (2009) se relaciona com o trabalho proposto pelo fato de ambos proporem uma forma de monitoramento de colmeias. Porém, no nosso, trabalho todo o processo de coleta, envio, armazenamento e análise dos dados é feito de forma totalmente autônoma, sem a necessidade de intervenção por parte do apicultor.

Kviesis et al. (2015) propuseram um sistema de rede de sensores de umidade e temperatura para monitoramento *online* de colônias de abelhas, a fim de facilitar a vida dos apicultores. As propriedades monitoradas neste trabalho foram temperatura e umidade, porém os autores não deram uma explicação sobre o porquê dessas propriedades serem escolhidas. O sistema consistia em sensores enviando dados para um banco de dados que poderia ser consultado por uma aplicação *Web* para exibição dos dados ao usuário. Os autores concluíram que sistemas desse tipo pode minimizar a intervenção do apicultor nas colônias, maximizando a saúde delas.

Assim como trabalho proposto Kviesis et al. (2015) desenvolveu uma aplicação para a visualização dos dados coletados, entretanto, a aplicação desenvolvida é apenas *Web*, enquanto que a nossa conta também com uma aplicação *mobile*. Outra diferença é a análise de sensibilidade realizado no sistema desenvolvido.

Já Kridi, Carvalho e Gomes (2016) propuseram em seu trabalho criar um sistema proativo capaz de detectar, via rede de sensores sem fio, o aquecimento interno em colmeias de abelhas. Para garantir temperaturas adequadas ele utilizou técnicas de *clustering* por similaridade para descobrir os padrões térmicos. O experimento foi realizado em um apiário com duas colmeias diferentes contendo o mesmo número de quadros, crias e população. No decorrer do experimento, foi possível perceber os problemas que se enfrenta no monitoramento em locais inóspitos. Tendo que mudar algumas vezes a estratégia de instalação dos sensores na colmeia. Ao final, o autor verificou que o monitoramento das

colmeias é capaz de detectar informações específicas sobre o comportamento das abelhas em condições de temperatura adversas.

Assim como o nosso, Kridi, Carvalho e Gomes (2016) tem o objetivo de monitorar variáveis em uma colmeia, no entanto, apenas a temperatura é monitorada. No trabalho proposto aqui temperatura e a umidade também são monitoradas, além disso, nosso trabalho tem aplicações para visualização dessas variáveis em tempo real.

Murphy et al. (2016) desenvolveram uma rede de sensores heterogêneos para monitorar uma variedade de parâmetros, a fim de descrever as condições internas das colônias. Para viabilizar os testes, os autores criaram um protótipo do sistema que foi instalado em uma colmeia para realização dos experimentos. O sistema fazia seis leituras diárias de cada sensor, armazenava os dados da temperatura em um cartão de memória que era recolhido a cada 24 horas para análise dos dados. Ao final, os pesquisadores concluíram que as mudanças climáticas têm forte influência sobre a temperatura e umidade no interior da colmeia.

Assim como em nosso trabalho, Murphy et al. (2016) criou um sistema para monitorar parâmetros de uma colmeia, todavia, diferentemente do nosso, a coleta dos dados resultantes desse monitoramento era realiza-dá de forma manual. Sem nenhuma conexão com a internet ou com um sistema remoto que possibilitasse uma melhor apresentação das condições dentro da colmeia.

Dutra (2016) desenvolveu um sistema computacional para a apicultura com o objetivo geral de monitorar as variáveis de uma colmeia de abelhas, possibilitando o registro histórico e a visualização dos dados coletados. sistema coleta os dados, armazena, processa e envia-os a um aplicativo *Web*, que tem a função de exibi-los, esse envio é feito por *Ethernet* ou através de um cartão de memória.

O sistema de Dutra (2016) é bem semelhante ao proposto neste trabalho com as variáveis monitoradas (temperatura e umidade), sendo as mesmas. As diferenças entre os trabalhos é a análise de sensibilidade e notificação de problemas na colmeia realizada apenas neste trabalho.

Silva (2017) Oferece em seu trabalho uma solução para a perda de abelhas devido à vários fatores. Sendo essa solução um sistema de monitoramento que utiliza sensores, o sistema conta com um aplicativo *mobile* para visualização dos dados pelo apicultor. O autor conclui que um sistema desse tipo pode auxiliar o apicultor no cuidado do apiário e nas tomadas de decisões referente as suas colmeias.

Semelhante ao anterior o trabalho de Silva (2017) tem analogia com o trabalho proposto pela construção de um sistema de monitoramento com conexão a internet a aplicativo para visualização. Todavia, o sistema proposto nesse trabalho conta com mecanismo de notificação, duas plataformas para apresentação dos dados e a análise de sensibilidade realizada apenas no trabalho proposto aqui.

Todos os trabalhos citados se relacionam com o trabalho proposto pela ênfase no mo-

monitoramento de colmeias de abelhas, porém com o intuito de se saber quais das variáveis mais afetavam a acurácia de um sistema de monitoramento de colmeias, foi feita uma análise de sensibilidade utilizando DoE. O trabalho proposto se diferencia também dos demais por contar com uma plataforma *Web* e *mobile* para apresentação dos dados coletados, além também de utilizar uma forma totalmente gratuita de notificação sendo essa forma os *bots* do mensageiro Telegram. A Tabela 1 resume a comparação deste trabalho com os relacionados, usando os seguintes critérios: Análise de sensibilidade, Propriedades monitoradas, Exibição e Notificação.

Tabela 1 – Trabalhos Relacionados

Trabalho	Análise de Sensibilidade	Propriedades Monitoradas	Exibição	Notificação
Meitalovs et al. (2009)	Não	Temperatura e Umidade	Localmente	Não
Kviesis et al. (2015)	Não	Temperatura e Umidade	Web	Não
Murphy et al. (2016)	Não	Temperatura, Umidade e Gases	Localmente	Não
Kridi, Carvalho e Gomes (2016)	Não	Temperatura	Localmente	Não
Dutra (2016)	Não	Temperatura e Umidade	Web	Não
Silva (2017)	Não	Temperatura e Umidade	Mobile	Não
Trabalho Proposto	Sim	Temperatura e Umidade	Web e Mobile	Sim

4 Desenvolvimento

Neste capítulo será apresentado o sistema proposto, incluindo sua arquitetura, a construção e o funcionamento de seus módulos (aplicativos *web* e *mobile*, mecanismo de alerta e o protótipo de monitoramento). Será apresentado também a análise de sensibilidade feita no sistema, bem como sua validação e resultados da mesma.

4.1 Sistema de Monitoramento Automático de Colmeias

O SISMAC é um sistema para monitorar a temperatura e umidade interna das colmeias em tempo real utilizando componentes de baixo custo. O Funcionamento do SISMAC e a interação dos seus módulos pode ser observado na Figura 5. Tudo começa dentro da colmeia (1) quando os sensores de temperatura e umidade (2) coletam os dados da colmeia e os envia para o Arduino com uma *shield ethernet w5100* acoplada. Nesse momento, será feito a verificação da temperatura obtida com o objetivo de se identificar valores abaixo ou acima do normal e então disparar uma mensagem de alerta pelo Telegram (3). Em seguida, todos os dados (temperatura e umidade) são enviados pela *internet* através da plataforma Thinger IO, por meio de uma conexão entre o Arduino e a plataforma. A partir daí, os dados são armazenados e analisados pela plataforma Keen IO (4). Quando, por último, as informações sobre a colmeia são disponibilizadas ao apicultor por uma aplicação *web* e ou *mobile*, juntamente com possíveis alertas através do mensageiro Telegram (5).

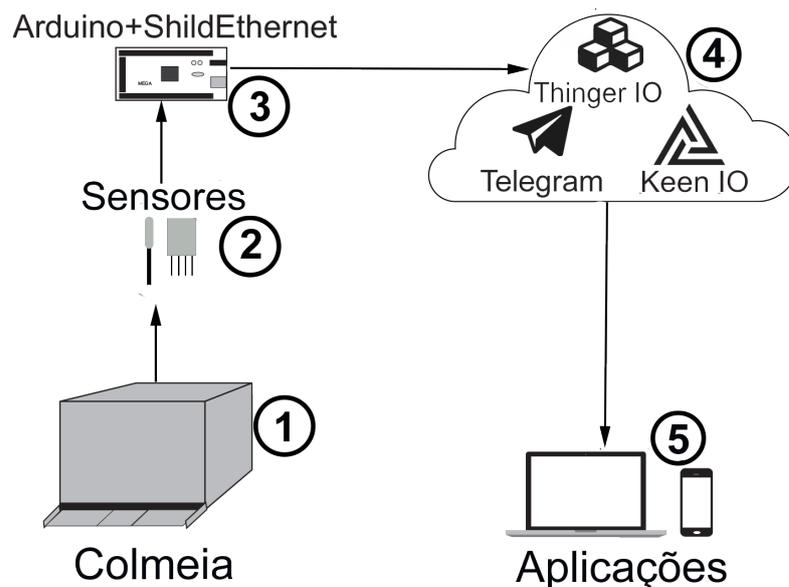


Figura 5 – Diagrama de Interação dos Módulos do SISMAC

4.1.1 Aplicação Web

Seguindo o objetivo primordial deste trabalho que é desenvolver um sistema para monitoramento de colmeias em tempo real. Foi desenvolvida uma aplicação *web* que tem como objetivo aumentar a comodidade no monitoramento. A aplicação foi desenvolvida em HTML e JavaScript a partir das APIs de desenvolvimento da plataforma Keen IO abordada na Subseção 2.5.6 deste trabalho. A Figura 6 mostra a aplicação *web*, a aplicação permite que usuário monitore a saúde da colmeia no âmbito da temperatura e umidade.

A aplicação tem uma interface bem simples, com os níveis de temperatura e umidade sendo informados logo na parte superior da tela sendo fornecido também as temperaturas mínima e máxima das últimas 24 horas. Logo abaixo são fornecidos gráficos que dão uma melhor visão dos dados colhidos durante o dia.

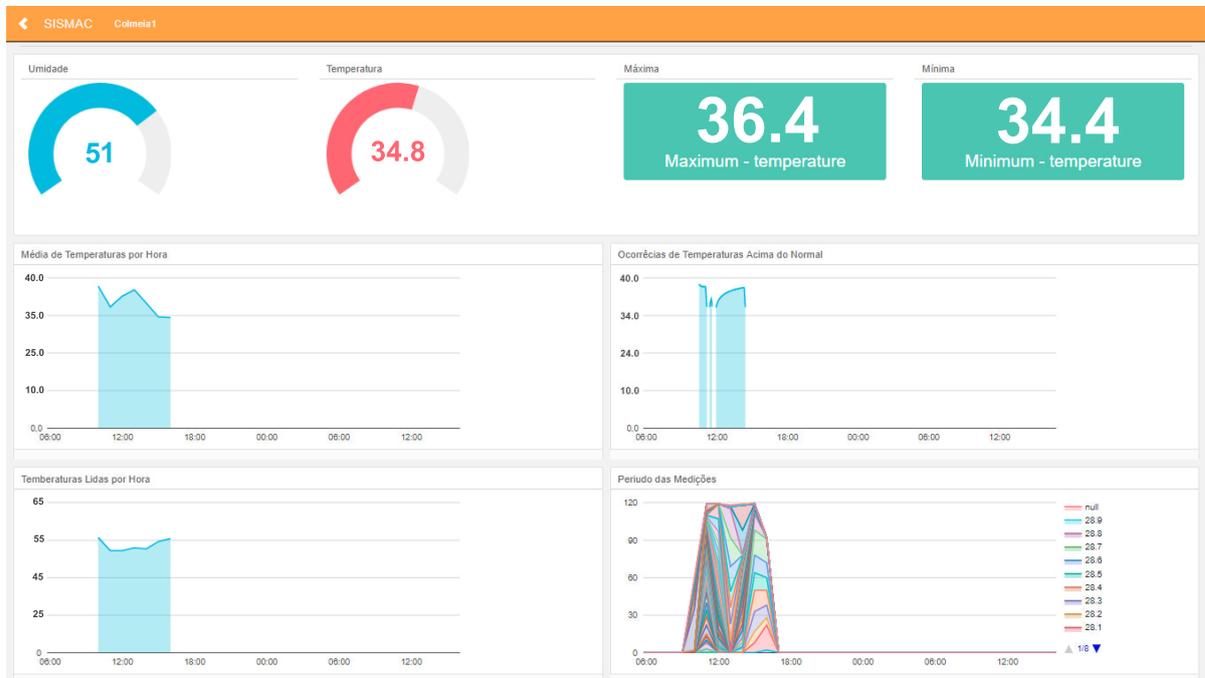
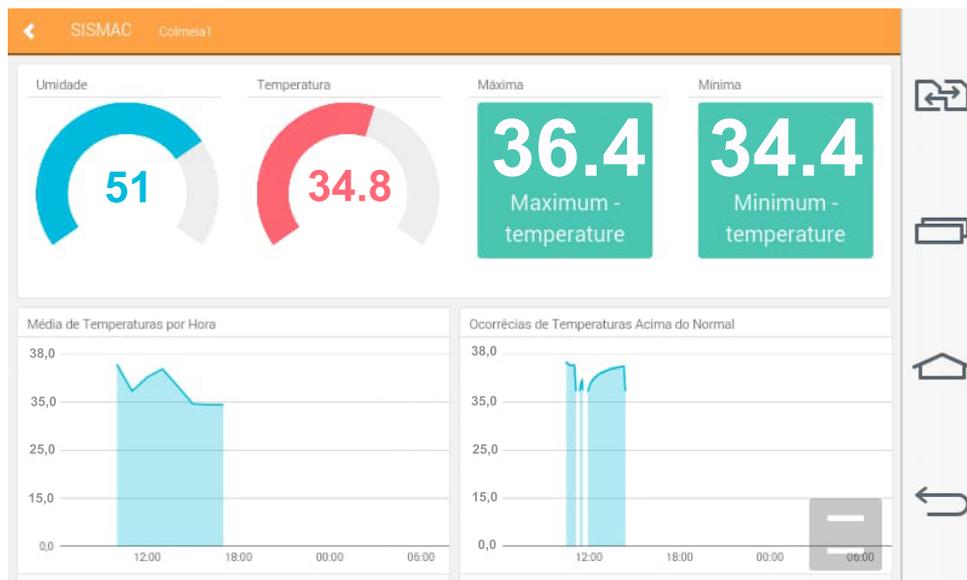


Figura 6 – Aplicação Web

4.1.2 Aplicação Mobile

Visando ainda mais a comodidade dos usuários, foi desenvolvido um aplicativo *mobile* com base na aplicação *web*. O aplicativo foi desenvolvido para a plataforma Android. Assim como a aplicação *web* o aplicativo *mobile* apresenta os dados referentes a temperatura e umidade da colmeia além dos gráficos, também presentes no aplicativo. A Figura 7 mostra a tela de exibição dos dados, como a tela de telefones celulares é relativamente pequena, é necessário a rolagem da tela para que se possa visualizar todos os dados.

Figura 7 – Aplicação *Mobile*

4.1.3 Notificação

Para que o apicultor não precise acessar constantemente um dos aplicativos, a fim de verificar a temperatura da colmeia, o SISMAC também possui uma funcionalidade para notificar, por meio do mensageiro instantâneo Telegram, quando houver picos de temperatura fora do normal. Cada notificação é disparada no intervalo de 10 minutos, caso existam pelo menos 5 picos simultâneos, contendo a seguinte mensagem: "Tem Algo Errado na Colmeia, Média de Temperatura: Média". Como pode ser visto na Figura 8.

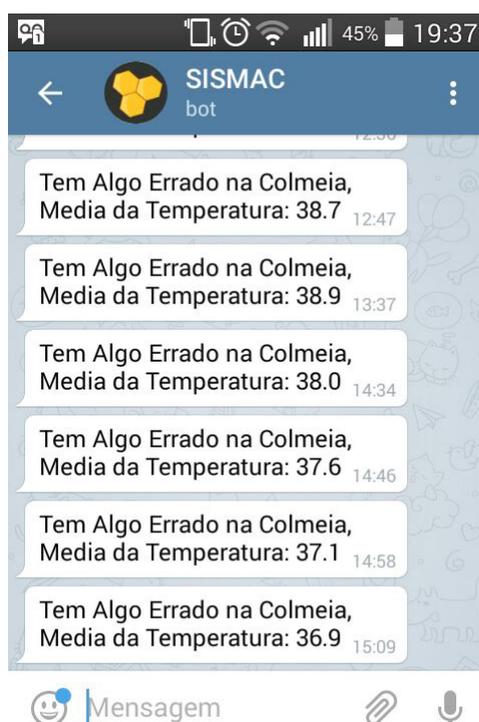


Figura 8 – Telegram

O principal diferencial dessa função é a sua total gratuidade, possível graças aos *bots* do Telegram abordado na Seção 2.5.6 deste trabalho. Para ter essa função em mãos o apicultor teria apenas que instalar o aplicativo do mensageiro Telegram em seu celular Android sem custo algum.

4.2 Análise de Sensibilidade no SISMAC

Esta seção descreve os experimentos realizados para analisar os fatores que tiveram mais influência na acurácia do sistema. Através da realização de uma análise de sensibilidade.

4.2.1 Planejamento

O SISMAC tem a capacidade de medir a temperatura e a umidade, desta forma tornou-se necessária a realização de dois DoE's visto que os sensores utilizados para medir a temperatura são diferentes dos utilizados para medir a umidade e com algumas variáveis independentes diferentes. Na execução de um DoE, o primeiro passo é definir os fatores e níveis do experimento.

A Tabela 2 apresenta os fatores e níveis escolhidos com o objetivo de identificar o fator com maior impacto na precisão do SISMAC no que diz respeito a temperatura. Da mesma forma, a Tabela 3 apresenta os fatores e níveis escolhidos para identificar o fator que mais impacta na precisão do SISMAC no que diz respeito a umidade.

Tabela 2 – Fatores e Níveis Temperatura

Fator	Nível I	Nível II
Período do Dia	Manhã	Tarde
Posição do Sensor	Centro	Lateral
Presença de Própolis	Total	Parcial
Tipo de Sensor	LM35	DS18B20

Tabela 3 – Fatores e Níveis Umidade

Fator	Nível I	Nível II
Período do Dia	Manhã	Tarde
Posição do Sensor	Centro	Lateral
Proteção	Com	Sem
Tipo de Sensor	DHT11	DHT22

O próximo passo é combinar os fatores e níveis para definir as especificações do experimento. A Tabela 4 apresenta as possíveis combinações dos fatores e níveis da temperatura. A Tabela 5 apresenta as possíveis combinações dos fatores e níveis da umidade. O desenho do experimento resultou em 16 combinações para cada DoE.

4.2.2 Coleta dos Dados

Os valores de temperatura e umidade foram coletados em uma colmeia padrão Langstroth pertencente a Associação de Apicultores da Comunidade Várzea, situada na cidade de Isaías Coelho-PI. A Figura 9 apresenta a colmeia usada para realização dos experimentos. Para cada combinação (descritos nas Tabelas 4 e 5), foram coletadas 30 medições de temperatura, o que resultou em 480 observações para cada DoE.

Tabela 4 – Combinações para Temperatura

Nº	Combinações
1	Manhã - Centro - Parcial - DS18B20
2	Manhã - Centro - Total - DS18B20
3	Manhã - Lateral - Parcial - DS18B20
4	Manhã - Lateral - Total - DS18B20
5	Manhã - Lateral - Parcial - LM35
6	Manhã - Lateral - Total - LM35
7	Manhã - Centro - Parcial - LM35
8	Manhã - Centro - Total - LM35
9	Tarde - Lateral - Parcial - DS18B20
10	Tarde - Lateral - Total - DS18B20
11	Tarde - Centro - Parcial - DS18B20
12	Tarde - Centro - Total - DS18B20
13	Tarde - Centro - Parcial - LM35
14	Tarde - Centro - Total - LM35
15	Tarde - Lateral - Parcial - LM35
16	Tarde - Lateral - Total - LM35

Tabela 5 – Combinações para Umidade

Nº	Combinações
1	Manhã - Centro - Com - DHT22
2	Manhã - Centro - Sem - DHT22
3	Manhã - Lateral - Com - DHT22
4	Manhã - Lateral - Sem - DHT22
5	Manhã - Lateral - Com - DHT11
6	Manhã - Lateral - Sem - DHT11
7	Manhã - Centro - Com - DHT11
8	Manhã - Centro - Sem - DHT11
9	Tarde - Lateral - Com - DHT22
10	Tarde - Lateral - Sem - DHT22
11	Tarde - Centro - Com - DHT22
12	Tarde - Centro - Sem - DHT22
13	Tarde - Centro - Com - DHT11
14	Tarde - Centro - Sem - DHT11
15	Tarde - Lateral - Com - DHT11
16	Tarde - Lateral - Sem - DHT11



Figura 9 – Colmeia Langstroth Utilizada

As coletas foram realizadas em quatro dias. O período de coletas da parte da manhã teve início às 7:30 e término às 10:30, e com início às 13:00 e término as 16:00 horas pela tarde. Foi usado um termômetro digital HT3320¹ (com acurácia de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para temperatura e $\pm 1\%$ para umidade) para comparação com sensores. O cálculo da acurácia baseou-se na diferença do valor da medição do termômetro HT3320 com o sensor. Por exemplo, supondo que o termômetro digital obteve 35°C , e o sensor $34,5^{\circ}\text{C}$ a acurácia do sensor em relação ao termômetro seria de cerca de 98,5%.

4.2.3 Análise de Dados para Temperatura

A Figura 10 apresenta um Gráfico de Pareto para os fatores relacionados a temperatura. O Gráfico de Pareto descreve a importância de um efeito por seu valor absoluto,

¹ <https://bit.ly/2K1frEg>

dispondo uma linha vermelha vertical. Cada barra significa o nível de impacto do fator (ou combinação de fatores) sobre a variável dependente. A linha vermelha tracejada representa a magnitude mínima de efeitos estatisticamente significativos (quantificada como 1.97), considerando-se o critério de significância estatística $\alpha = 0.05$. Ao passo que a barra do fator transpassa esta linha, sua influência será maior sobre a acurácia da variável dependente.

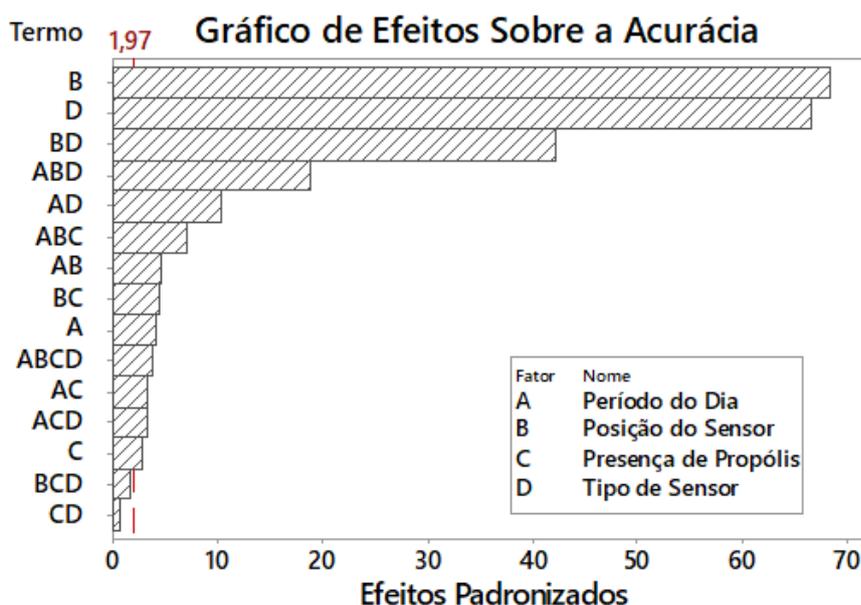


Figura 10 – Influências dos Fatores na Acurácia (Temperatura).

Quando o impacto de um fator é dito alto, quer dizer que alterando o nível daquele fator são obtidos valores bem distintos. Neste estudo foi observado que os fatores com impactos mais elevados sobre a acurácia no que diz respeito a medição de temperatura foram: Posição do Sensor e Tipo de Sensor. A Posição do Sensor possui maior impacto dentre todos os fatores. Dessa forma, a localização do sensor é determinante na confiabilidade da medição. Dado que se sabe os fatores com maiores impactos, o próximo passo é saber quais níveis tiveram melhores resultados.

Para saber quais níveis se destacaram, foi realizado um teste T para 2 amostras nos fatores que mais influenciaram na acurácia do SISMAC para a temperatura, o teste T para 2 amostras se aplica a planos amostrais onde se deseja comparar dois grupos independentes. As Figuras 11, 12, 13 e 14 apresentam os resultados do teste T, usando o gráfico de boxplot. O boxplot é um gráfico utilizado para avaliar a distribuição empírica dos dados, o boxplot fornece informação sobre localização, dispersão, assimetria, comprimento da cauda dos dados analisados.

Observando o gráfico da Figura 11 constatou-se que o sensor situado na posição central da colmeia teve uma acurácia média de 95,43% (melhor acurácia), sendo assim o melhor local para o posicionamento do sensor de temperatura seria o centro, uma vez que o fator posição é o que mais interfere na acurácia. Isso ocorre porque possivelmente nas

bordas da colmeia, a temperatura sofre mais influência do ambiente externo. Com a acurácia do SISMAC sendo afetada significativamente, na mensuração da temperatura o que conseqüentemente pode apresentar um quadro que não condiz com a realidade da colmeia.

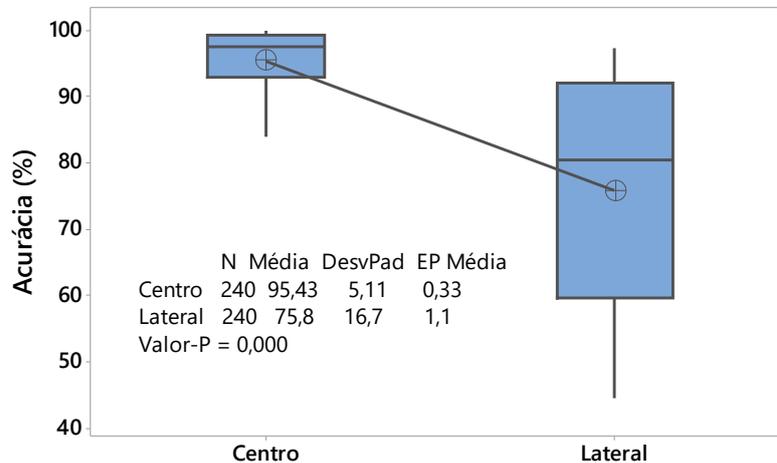


Figura 11 – Boxplot Posição do Sensor (Temperatura)

Em termos do Tipo de Sensor a Figura 12, constatou-se que o sensor DS18B20 teve melhor resultado com média de acurácia de 95,19%. O sensor DS18B20 tem o circuito protegido por uma cápsula de metal, enquanto que o sensor LM35 não. Acreditamos que a não proteção do sensor LM35 faz com que ele fique sujeito a interferência externas.

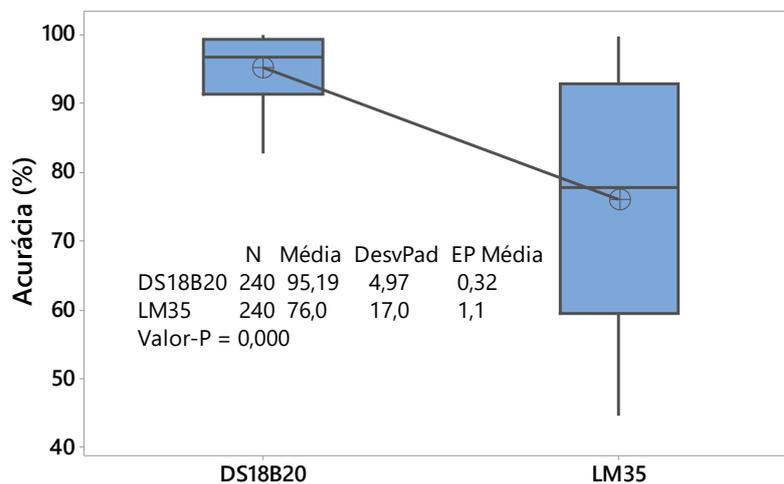


Figura 12 – Boxplot Tipo de Sensor (Temperatura)

Os fatores Período do Dia e Presença de Própolis não tiveram tanto impacto sobre a acurácia do sistema. Isso pode ser observado nas Figuras 13 e 14, que mostram claramente os níveis de ambos os fatores com média de acurácia tendo valores bem próximos uns dos outros. Com esses resultados concluiu-se que o sistema funcionaria bem em qualquer horário do dia (manhã ou tarde). Assim como, também, a presença ou não de própolis não impactou na acurácia do sistema.

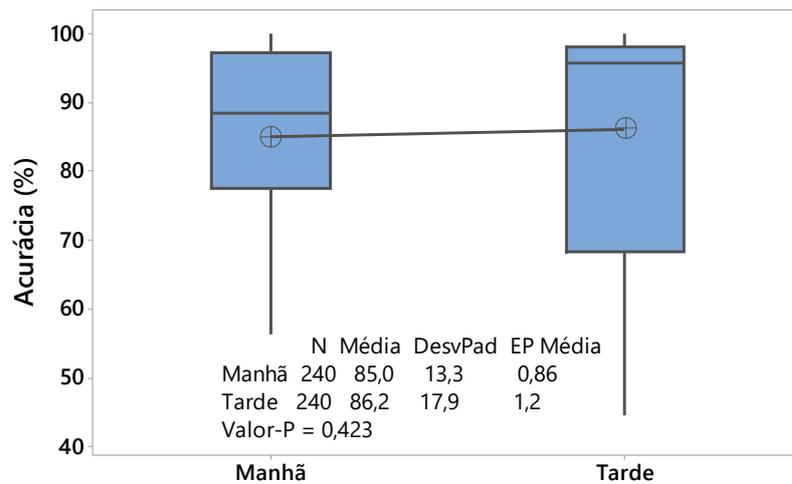


Figura 13 – Boxplot Período do Dia (Temperatura)

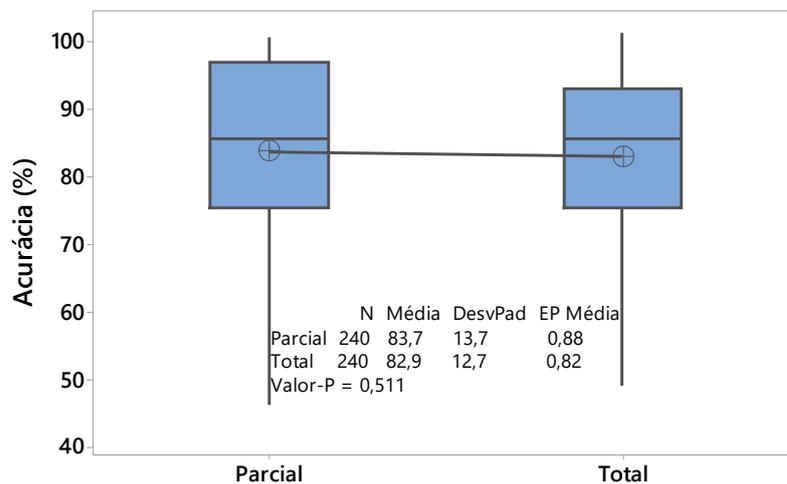


Figura 14 – Boxplot Presença de Própolis (Temperatura)

No gráfico de barras que pode ser visto na Figura 15 estão dispostas as médias de acurácia de cada combinação, sendo a melhor combinação a 11 (Tarde, Centro, Parcial, DS18B20) Tabela 6. Seguida da combinação 2 (Manhã, Cento, Parcial, DS18B20) Tabela 6. Com esses resultados foi possível montar o módulo de monitoramento da melhor forma possível.

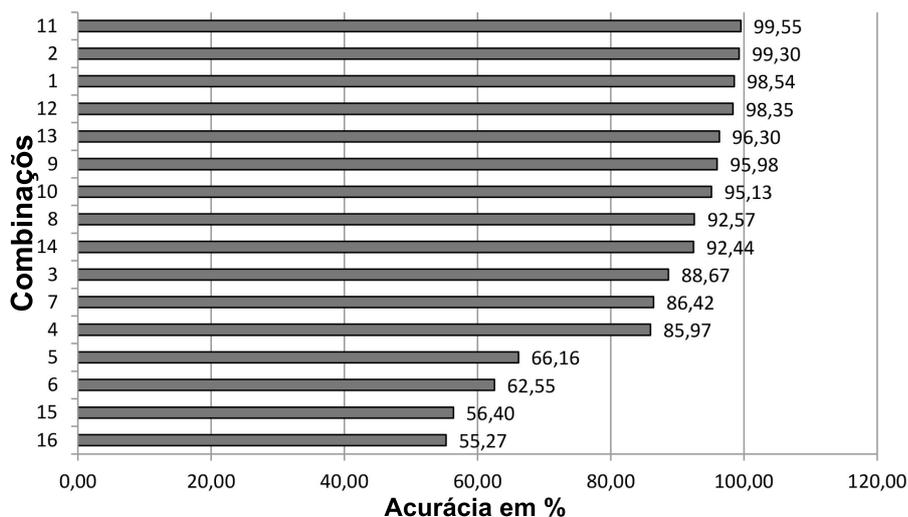


Figura 15 – Acurácia Média (Temperatura)

Tabela 6 – Combinações para Temperatura

Nº	Combinações
1	Manhã - Centro - Parcial - DS18B20
2	Manhã - Centro - Total - DS18B20
3	Manhã - Lateral - Parcial - DS18B20
4	Manhã - Lateral - Total - DS18B20
5	Manhã - Lateral - Parcial - LM35
6	Manhã - Lateral - Total - LM35
7	Manhã - Centro - Parcial - LM35
8	Manhã - Centro - Total - LM35
9	Tarde - Lateral - Parcial - DS18B20
10	Tarde - Lateral - Total - DS18B20
11	Tarde - Centro - Parcial - DS18B20
12	Tarde - Centro - Total - DS18B20
13	Tarde - Centro - Parcial - LM35
14	Tarde - Centro - Total - LM35
15	Tarde - Lateral - Parcial - LM35
16	Tarde - Lateral - Total - LM35

4.2.4 Análise de Dados para Umidade

A Figura 16 mostra o gráfico de Pareto desta vez, para os fatores relacionados a umidade. A magnitude mínima de efeitos estatisticamente significativos teve a mesma quantificação do gráfico de Pareto para os fatores relacionados a temperatura (1.97). Neste caso observou-se que os fatores com impacto mais elevado sobre a acurácia no que diz respeito a medição de umidade foram: Posição do Sensor e Proteção. A Posição do Sensor continuou a possuir maior impacto dentre todos os fatores.

Nessa análise percebeu-se ainda que o tipo de sensor (DHT11 ou DHT22) não tiveram muito impacto sobre a acurácia, mas sim a proteção que eles receberam. Da mesma forma que na análise anterior o próximo passo é saber quais níveis tiveram melhores resultados, nessa análise.

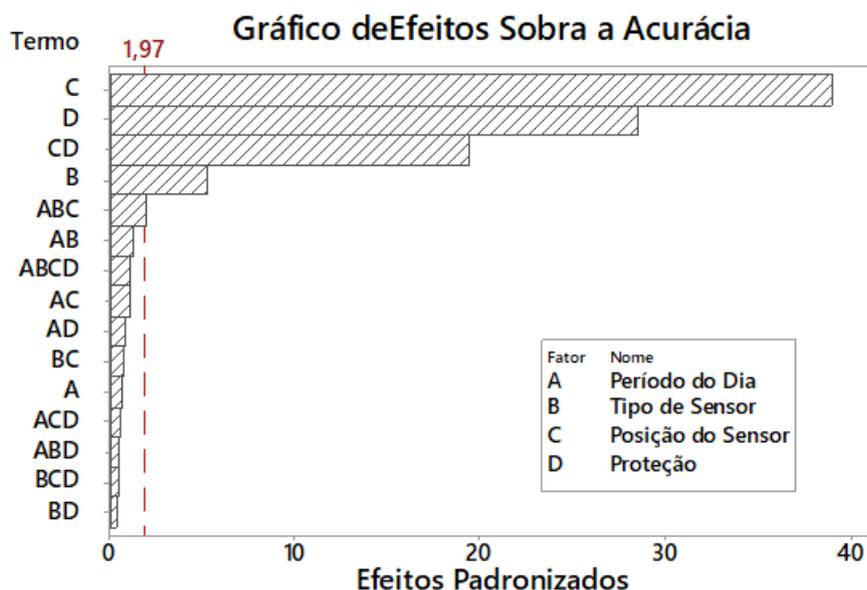


Figura 16 – Influências dos Fatores na Acurácia (Umidade).

As Figuras 17, 18, 19 e 20 apresentam gráficos boxplot utilizados para medir os efeitos de cada fator na acurácia no que diz respeito a umidade. Observando a Figura 17, novamente a posição central da colmeia apresentou uma melhor acurácia com média de 95,31%, com isso constatou-se que o melhor local para o posicionamento do sensor de umidade também seria no centro.

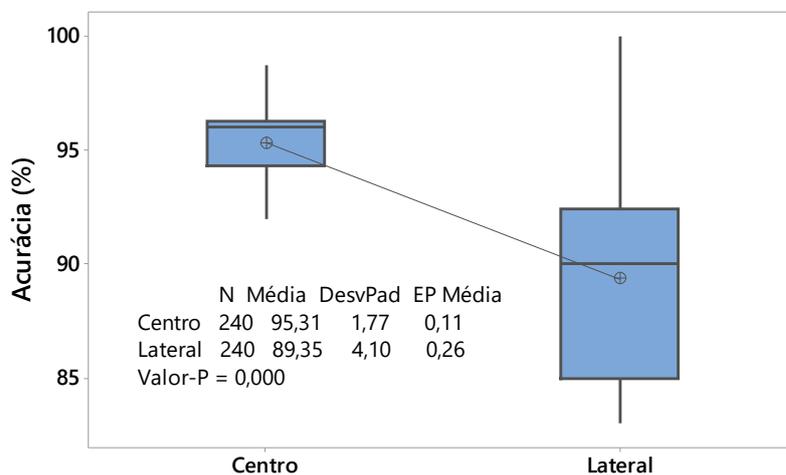


Figura 17 – Boxplot Posição do Sensor (Umidade)

O segundo fator que mais afetou a acurácia na medição de umidade foi a presença ou não de uma proteção sobre o sensor, a proteção sobre o sensor se trata de uma rede de *nylon* utilizada para recobrir os sensores de umidade utilizados na análise (DHT11 e DHT22). Com a média de acurácia ficando em 94,51% nos casos em que os sensores tinham a proteção. A proteção aumentou significativamente a acurácia do SISMAC, acreditamos que isso ocorreu por que a rede evitou o contato direto do sensor com as abelhas com o mesmo, tendo contato apenas com ar da colmeia.

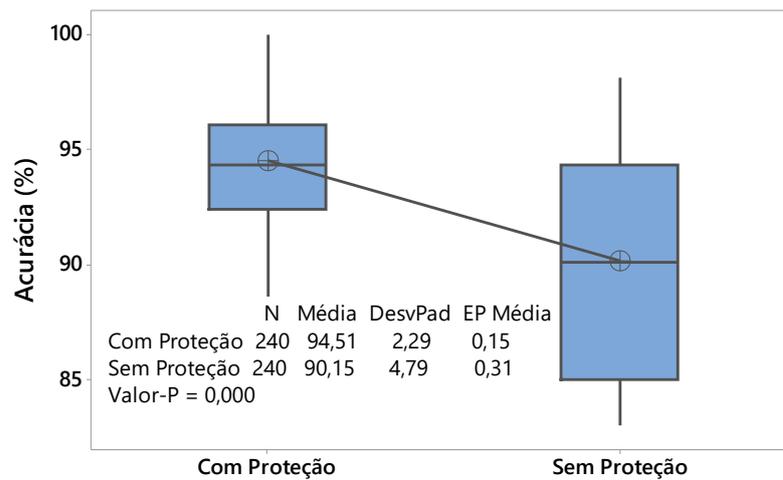


Figura 18 – Boxplot Proteção (Umidade)

Nessa análise os fatores tipo de sensor e período do dia tiveram pouca ou quase nenhuma influência sobre a acurácia do sistema, esses resultados podem ser observados nas Figuras 19 e 20 onde a diferença das médias de acurácia oscila entre valores inferiores a 1%. Mais uma vez o período do dia não interferiu na acurácia do sistema. Com o tipo de sensor também não interferindo na acurácia, contrariando as expectativas, já que o sensor DHT22 é considerado melhor que o sensor DHT11 (de acordo com o fabricante), nesse cenário a diferença entre os sensores não interferiram com expressão nos resultados da análise.

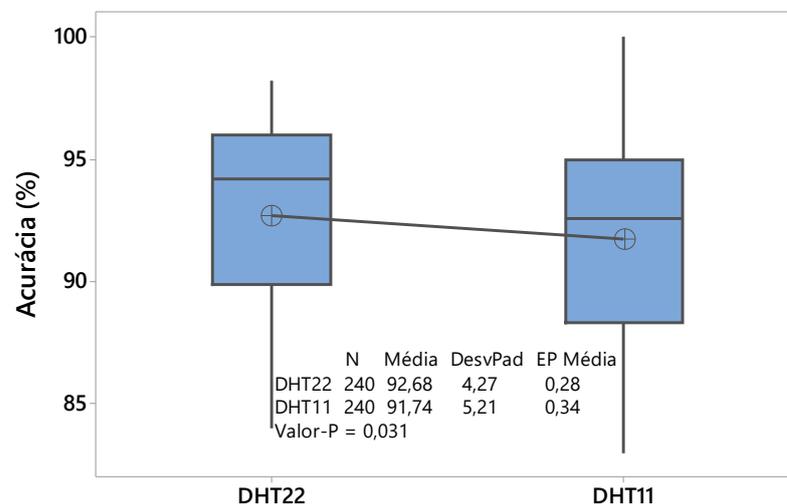


Figura 19 – Boxplot Tipo de Sensor (Umidade)

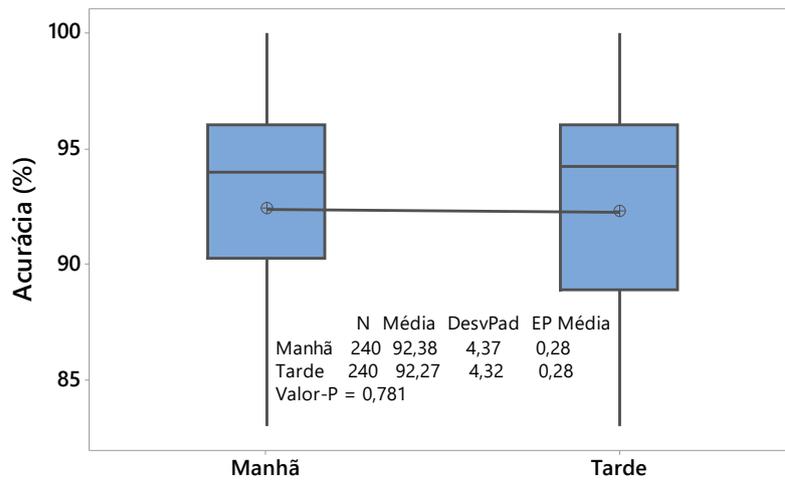


Figura 20 – Boxplot Período do Dia (Umidade)

Assim como na análise anterior as melhores combinações puderam ser descobertas como mostra o gráfico de barras na Figura 21, nesse caso a melhor combinação obtida foi a 1 (Manhã, Centro, Com Proteção, DHT22) Tabela 7. Seguida da combinação 11 (Tarde, Centro, Com Proteção, DHT22) Tabela 7. Com esses resultados o módulo para monitoramento da umidade pode ser montada da maneira mais viável.

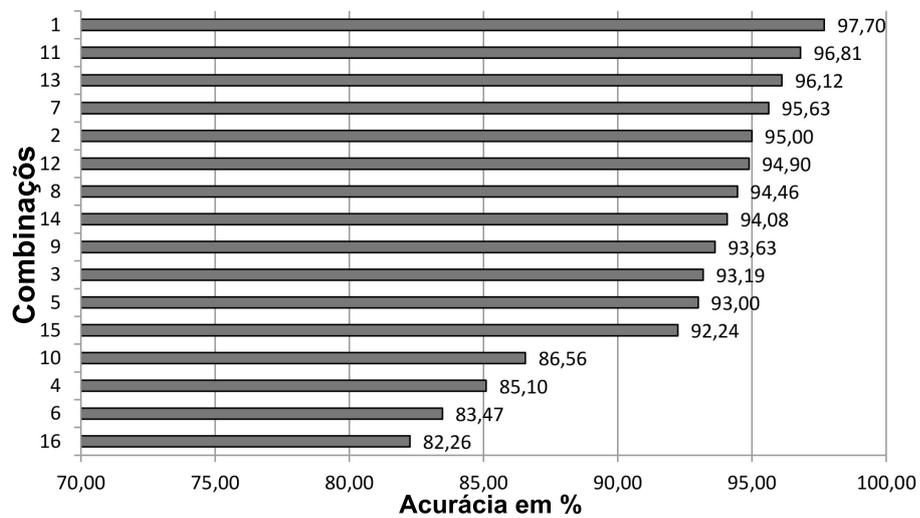


Figura 21 – Acurácia Média (Umidade)

Tabela 7 – Combinações para Umidade

Nº	Combinações
1	Manhã - Centro - Com - DHT22
2	Manhã - Centro - Sem - DHT22
3	Manhã - Lateral - Com - DHT22
4	Manhã - Lateral - Sem - DHT22
5	Manhã - Lateral - Com - DHT11
6	Manhã - Lateral - Sem - DHT11
7	Manhã - Centro - Com - DHT11
8	Manhã - Centro - Sem - DHT11
9	Tarde - Lateral - Com - DHT22
10	Tarde - Lateral - Sem - DHT22
11	Tarde - Centro - Com - DHT22
12	Tarde - Centro - Sem - DHT22
13	Tarde - Centro - Com - DHT11
14	Tarde - Centro - Sem - DHT11
15	Tarde - Lateral - Com - DHT11
16	Tarde - Lateral - Sem - DHT11

4.3 Validação do Sistema

Esta seção descreve como foi feito o planejamento e realização da validação do SISMAC em um ambiente real. Bem como os resultados obtidos com essa validação.

4.3.1 Módulo de Monitoramento

Com base nos resultados da análise de sensibilidade, foi construído um módulo de monitoramento para realização da validação do SISMAC. O módulo presente na Figura 22 é composto por uma placa Arduino Mega, uma placa *ethernet* w5100, um sensor DS18B20, um sensor DHT22 e um cabo de rede RJ-45 de cerca de 35 metros para conexão com o roteador de *Internet*.

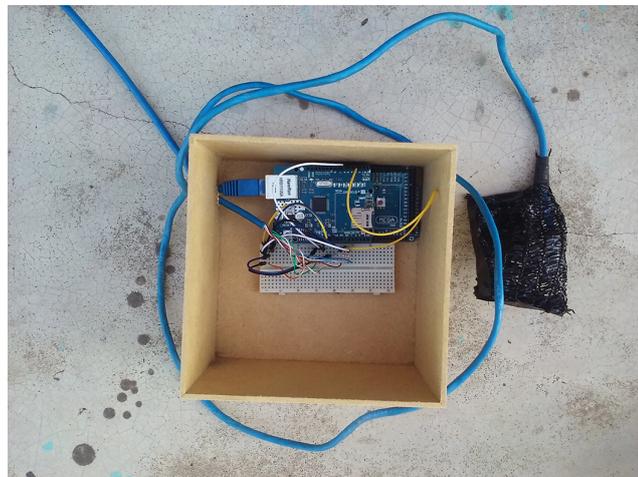


Figura 22 – Módulo de Monitoramento

4.3.2 Monitoramento

A validação do SISMAC foi realizada em uma colmeia Langstroth, povoada com abelhas do gênero *Apis Melifera*. A colmeia utilizada novamente cedida pela Associação de Apicultores da Comunidade Várzea. Para que a realização dos testes de validação fossem viáveis, a colmeia utilizada teve que ser transportada para as proximidades da sede da associação dos apicultores pelo fato de esse ser o único local com conexão com *Internet* em que poderia-se colocar uma colmeia povoada.

A Figura 23 mostra a colmeia com o módulo de monitoramento já instalado. O módulo foi instalado na parte superior da colmeia com os sensores ficando posicionados no centro das colmeias sendo esse o melhor local para ambos os sensores de acordo com a análise de sensibilidade realizada nesse trabalho. O monitoramento no ambiente real teve duração de 17 horas com o início oficial do monitoramento as 10:00 e término as 03:05 com um total de 206 para cada grandeza monitorada (temperatura e umidade).



Figura 23 – Colmeia Utilizada na Validação

A Figura 24 mostra um gráfico de linhas com o histórico de temperatura da colmeia, durante todo o tempo de validação do sistema (17 horas), o gráfico mostra que a temperatura interna da colmeia se manteve praticamente por todo o tempo em níveis normais (entre 33 e 36 °C), ao mesmo tempo, que a temperatura externa oscilava de acordo com horário do dia.

O gráfico mostrou a independência da temperatura interna de colmeia em relação ao seu exterior, sendo essa situação a normal de uma colmeia saudável. Durante o tempo de validação a temperatura máxima atingiu 36,4 °C e temperatura mínima atingiu 34,4 °C. Isso mostrou que o SISMAC conseguiu através do sensor utilizado, monitorar a temperatura de uma colmeia por um período de tempo longo.

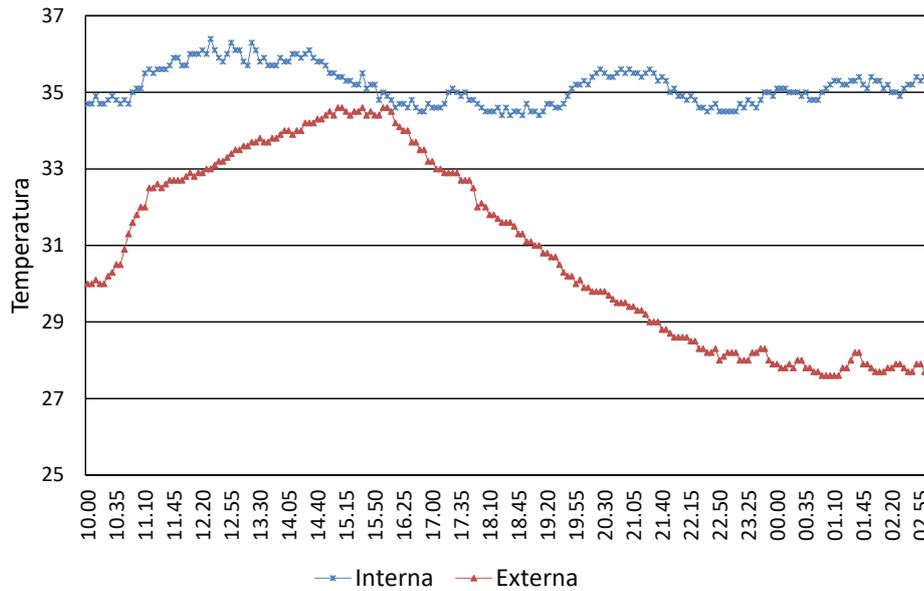


Figura 24 – Histórico de Temperatura

Para o monitoramento da umidade da colmeia o SISMAC também mostrou êxito, como pode ser observado na Figura 25 que mostra através de um gráfico de linhas o histórico de umidade dentro da colmeia no decorrer da 17 horas de monitoramento. Com a umidade também se mantendo em níveis normais com o nível mais alto de umidade monitorado sendo de 56% e o mais baixo foi 45%. Isso ocorria ao mesmo tempo, que umidade externa oscilava de acordo com o horário ultrapassando os 75% de umidade na parte da noite.

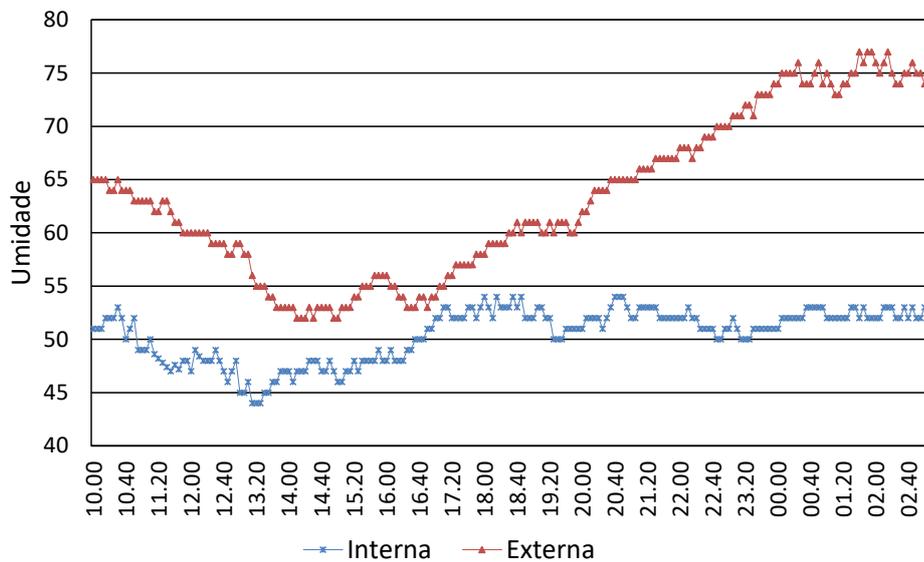


Figura 25 – Histórico de Umidade

5 Conclusão

Este trabalho desenvolveu o protótipo de um sistema para o monitoramento automático de colmeias utilizando IoT, denominado SISMAC, tendo como intuito o auxílio no manejo de abelhas mais eficiente. A aplicabilidade do sistema em um ambiente real foi verificada através de análises de sensibilidade. Por meio dessas análises foi possível conceber um sistema que pudesse ser utilizado em um ambiente real. Possibilitando sua validação sem que houvesse dúvidas quanto a sua capacidade de monitoramento. Nos testes de validação, o sistema mostrou boa eficácia atingindo as expectativas de funcionamento por um período de tempo longo com os sensores funcionando normalmente no decorrer das 17 horas de monitoramento.

Este trabalho mostrou que a utilização de novas tecnologias trazem avanços nas técnicas de manejo da apicultura. Proporcionando além de mais uma ferramenta no combate as perdas de colmeias, comodidade ao apicultor nas suas atividades apícolas. Outra contribuição gerada por este trabalho, foi a obtenção de resultados positivos quanto à aplicabilidade de tecnologias como a utilizada; em colmeias. Resultados possíveis graças a análises estatísticas realizadas no protótipo construído.

Este trabalho teve algumas limitações, uma delas está na validação que foi realizada com apenas uma colmeia, uma vez que a utilização de um número maior delas traria mais consistência na validação deste trabalho. No entanto, isso não foi possível devido ao número limitado de componentes eletrônicos disponíveis (apenas um componente de cada). Outra limitação é a infraestrutura necessária para realização de testes em uma escala maior. Uma vez que o apiário mais próximo ficava cerca de 1 km de distância de um ponto de energia.

Para trabalhos futuros, pretende-se monitorar, por meio de novos sensores, outras variáveis presentes em uma colmeia, como peso, ruído e qualidade do ar. Verificando ainda, se tais sensores funcionam corretamente em uma colmeia. O SISMAC na sua constituição atual não tem capacidade de intervenção em uma colmeia. Por tanto esse será outro ponto abordado em trabalhos futuros, o estudo de formas não invasivas de um sistema intervir automaticamente em uma colmeia caso seja necessário. A autonomia energética também será outro ponto abordado em trabalhos futuros, visto que locais para criação de abelha geralmente são afastadas de redes energéticas, o que dificulta bastante a aplicação e a instalação de módulos de monitoramento.

6 Publicações

SILVA, R. B. F. da et al. Análise sobre o efeito de fatores que interfere na acurácia do registro de temperatura em colmeias. In: *ENUCOMP 2017*. [S.l.: s.n.], 2017.

Referências

- ALMEIDA, G. F. *Fatores que interferem no comportamento enxameatório de abelhas africanizadas*. Tese (Doutorado) — Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2008. Citado na página 17.
- ANDERSON, M. J.; WHITCOMB, P. J. *Design of experiments*. [S.l.]: Wiley Online Library, 2000. Citado na página 18.
- BACAXIXI, P. et al. importância da apicultura no brasil. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, v. 10, n. 20, 2011. Citado na página 16.
- BASTOS, T. R. Especialista dá dicas para manter produção de mel em climas extremos. In: . [s.n.], 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/DEuRqd>>. Acesso em: 24.03.2018. Citado na página 14.
- COLUMBUS, L. *Roundup of Internet of Things Forecasts and Market Estimates, 2016*. 2016. Citado na página 17.
- DIMITROV, D. V. Medical internet of things and big data in healthcare. *Healthcare informatics research*, v. 22, n. 3, p. 156–163, 2016. Citado na página 18.
- DUTRA, T. F. S. *Beehiveior-Sistema de monitoramento e controle de colmeias de produção apícola*. Dissertação (Mestrado) — Brasil, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- ESKOV, E.; TOBOEV, V. Seasonal dynamics of thermal processes in aggregations of wintering honey bees (*apis mellifera*, hymenoptera, apidae). *Entomological review*, Springer, v. 91, n. 3, p. 354–359, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 17.
- FLANAGAN, D. *JavaScript: the definitive guide*. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2006. Citado na página 21.
- KRIDI, D. S.; CARVALHO, C. G. N. d.; GOMES, D. G. A predictive algorithm for mitigate swarming bees through proactive monitoring via wireless sensor networks. In: ACM. *Proceedings of the 11th ACM symposium on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, & ubiquitous networks*. [S.l.], 2014. p. 41–47. Citado na página 17.
- KRIDI, D. S.; CARVALHO, C. G. N. de; GOMES, D. G. Application of wireless sensor networks for beehive monitoring and in-hive thermal patterns detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier, v. 127, p. 221–235, 2016. Citado 3 vezes nas páginas 23, 24 e 25.
- KVIESIS, A. et al. Application of wireless sensor networks in precision apiculture. In: *Proceedings of the 14th International Scientific Conference Engineering for Rural Development (ERDev), Jelgava, Latvia*. [S.l.: s.n.], 2015. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 25.
- LIMA, J. A. O. V. *Kit investidor-decisões de investimento e de financiamento*. Dissertação (Mestrado) — FEUC, 2011. Citado na página 18.

- MAGALHÃES, F. dos S. Utilização do fitoplâncton como instrumento de avaliação em programas de monitoramento nos ecossistemas aquáticos costeiros. estudo de caso: Laguna de araruama/rj. 2012. Citado na página 17.
- MARTINS, E. S. P. R.; MAGALHÃES, A. R. A seca de 2012-2015 no nordeste e seus impactos. *Parcerias Estratégicas*, 2015. Citado na página 14.
- MATTOS, A. C. M.; VASCONCELLOS, H. Análise de sensibilidade. *Revista de administração de empresas*, SciELO Brasil, v. 29, n. 1, p. 85–91, 1989. Citado na página 18.
- MEITALOV, J. et al. Automatic microclimate controlled beehive observation system. In: *8th International Scientific Conference Engineering for Rural Development*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 265–271. Citado 3 vezes nas páginas 14, 23 e 25.
- MINITAB. Designing an experiment. In: . [s.n.], 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/1hrtyz>>. Acesso em: 27.11.2017. Citado na página 18.
- MURPHY, F. E. et al. b+ wsn: Smart beehive with preliminary decision tree analysis for agriculture and honey bee health monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier, v. 124, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- MURPHY, F. E. et al. Development of an heterogeneous wireless sensor network for instrumentation and analysis of beehives. In: IEEE. *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2015 IEEE International*. [S.l.], 2015. p. 346–351. Citado na página 14.
- OLIVEIRA, M. d.; CUNHA, J. A. Abelhas africanizadas *apis mellifera scutellata* lepeletier, 1836 (hymenoptera: Apidae: Apinae) exploram recursos na floresta amazônica. *Acta Amazônica*, SciELO Brasil, v. 35, n. 3, p. 389–394, 2005. Citado na página 16.
- OLIVEIRA, P. S. *Relação da Composição Química com a Origem Geográfica e Atividade Antioxidante de Méis de Meliponíneos e Apis Mellifera Produzidos no Estado do Pará*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Pará., Belém, 2010. Citado na página 16.
- PEREIRA, A. dos S.; SEIXAS, F. R.; NETO, F. R. de A. Própolis: 100 anos de pesquisa e suas perspectivas futuras. *Quim. Nova*, v. 25, n. 2, p. 321–326, 2002. Citado na página 16.
- ROLKE, D. et al. Large-scale monitoring of effects of clothianidin-dressed oilseed rape seeds on pollinating insects in northern germany: effects on honey bees (*apis mellifera*). *Ecotoxicology*, Springer, v. 25, n. 9, 2016. Citado na página 14.
- SANTOS, C. S. dos; RIBEIRO, A. S. Apicultura uma alternativa na busca do desenvolvimento sustentável. *Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável*, v. 4, n. 3, p. 01–06, 2009. Citado na página 16.
- SILVA, A. de Lima Silva e. *Monitoramento Não Invasivo de Colmeias Através da IOT*. 2017. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- SOMBRA, D. d. S. et al. Monitoramento do desenvolvimento de colônias de abelhas africanizadas sobre a influência do sol e sombra na região semiárida do nordeste brasileiro (mossor-rn). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2013. Citado na página 14.

STALIDZANS, E.; BERZONIS, A. Temperature changes above the upper hive body reveal the annual development periods of honey bee colonies. *Computers and electronics in agriculture*, Elsevier, v. 90, p. 1–6, 2013. Citado na página 14.



**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DIGITAL NA BIBLIOTECA
"JOSÉ ALBANO DE MACEDO"**

Identificação do Tipo de Documento

- () Tese
() Dissertação
(X) Monografia
() Artigo

Eu, Ricardo Bruno Ferruzina da Silva,
autorizo com base na Lei Federal nº 9.610 de 19 de Fevereiro de 1998 e na Lei nº 10.973 de
02 de dezembro de 2004, a biblioteca da Universidade Federal do Piauí a divulgar,
gratuitamente, sem ressarcimento de direitos autorais, o texto integral da publicação
SISMAC: um Sistema para o Monitoramento
de Colônias em Tempo Real
de minha autoria, em formato PDF, para fins de leitura e/ou impressão, pela internet a título
de divulgação da produção científica gerada pela Universidade.

Picos-PI 26 de Junho de 2018.

Ricardo Bruno Ferruzina da Silva
Assinatura

Ricardo Bruno Ferruzina da Silva
Assinatura