

Mestrado Profissional
Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais

LEON CARDOSO MARQUES DOS SANTOS

**Otimização do consumo energético em sistemas de
monitoramento de colmeias utilizando etiquetas
eletrônicas**

Belém – PA

2016

Mestrado Profissional
Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais

LEON CARDOSO MARQUES DOS SANTOS

**Otimização do consumo energético em sistemas de
monitoramento de colmeias utilizando etiquetas
eletrônicas**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS).

Orientador: Dr. Paulo Antônio de Souza Júnior
Coorientador: Dr. Gustavo Pessin

Belém – PA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S237

Santos, Leon Cardoso Marques dos

Otimização do consumo energético em sistemas de monitoramento de colmeias utilizando etiquetas eletrônicas / Leon Cardoso Marques dos Santos -- Belém-PA, 2016.

70 f.: il.

Dissertação (mestrado) -- Instituto Tecnológico Vale, 2016.

Orientador: Dr. Paulo Antônio de Souza Júnior

1. Painéis solares – colmeias.
2. Eficiência energética – colmeias.
3. RFID - abelhas. Título.

CDD 621.3126

LEON CARDOSO MARQUES DOS SANTOS

**Otimização do consumo energético em sistemas de
monitoramento de colmeias utilizando etiquetas
eletrônicas**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável do Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV).

Data da aprovação:

Banca examinadora:

Dr. Paulo Antônio de Souza Júnior
Orientador - *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)*

Dr. Schubert Ribeiro de Carvalho
Membro interno – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Dr. Gutemberg Hespanha Brasil
Membro externo – Universidade Federal do Espírito Santos (UFES)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,
Rosynaldo Marques dos Santos
e Edna Maria Oliveira Cardoso,
pela dedicação e compromisso
com a minha educação.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Paulo Antônio de Souza Jr., pela confiança em conceder a oportunidade de participar do projeto *Swarm Sensing*, pelos vários ensinamentos e conselhos que transcendem as fronteiras desta dissertação e por todo o tempo investido em mim.

Ao meu coorientador Gustavo Pessin, pelos ensinamentos, paciência e hombridade ao longo deste trabalho.

Ao Instituto Tecnológico Vale (ITV) pela oportunidade e bolsa concedida. Sem ela não seria possível realizar este trabalho.

À Fundação de Amparo e Desenvolvimento de Pesquisa (FADESP) pela bolsa de pesquisa concedida.

À *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* (CSIRO), pela oportunidade em trabalhar com o sistema de monitoramento de colmeia desenvolvido pelo projeto *Swarm Sensing*.

Ao professor Cleidson de Souza por possibilitar meu ingresso no grupo de Computação Aplicada do ITV.

Aos amigos do Laboratório de Robótica do ITV em especial ao Helder Arruda, Gerson Serejo e Bruno Ferreira que contribuíram diretamente na realização deste trabalho.

À cooperativa PARAMEL de Santa Barbara do Pará por ceder espaço e uma colmeia para realização do trabalho de campo desta dissertação. Um agradecimento em especial ao apicultor Paulo Said que ajudou na colagem das etiquetas eletrônicas e na manutenção da colmeia.

A todos os membros da minha família, em especial a minha mãe Edna Maria Oliveira Cardoso e minha noiva Erika Larissa Ferreira Santos pela compreensão na minha opção em realizar este mestrado e por todo apoio, amor e força para continuar.

“A ciência não pode prever o que vai acontecer. Só pode calcular a probabilidade de alguma coisa acontecer.”
(César Lattes)

RESUMO

O presente estudo otimizou o consumo de energia do sistema de monitoramento de colmeias utilizando etiquetas eletrônicas. A otimização se deu através da utilização de lógica *fuzzy*, para determinar períodos de intervalo de leituras ideais de funcionamento (entre 0,5s e 4,0s), de acordo com a maior ou menor atividade das abelhas que utilizam etiquetas eletrônicas. As atividades das abelhas foram medidas em relação às variáveis de clima e hora para definição dos conjuntos *fuzzy*. O resultado do estudo indica a redução do consumo em 16,3%, sem prejuízo importante (o trabalho considerou 25% como percentual máximo de perda de leituras) dos eventos de entrada e saída das abelhas da colmeia. Isso permitirá a redução de tamanho e custo dos painéis solares e das baterias.

Palavras-chave: Abelhas; Variáveis de clima; Lógica *fuzzy*; Eficiência energética.

ABSTRACT

The actual study has optimized the energy consuming from the hive's monitoring system using electronic tags. The optimizing was gained through the use of fuzzy logic, to determine some periods of ideal functioning (between 0.5s to 4.0s), according to the highest or lowest bees' activities which were using the electronic tags. The bees' activities were measured according to the variety relation of weather and time so the definition of fuzzy standards can be founded. The result of the study indicates the downsizing of consuming in 16.3% without great loss (the work has considered 25% as the maximum percentage of losses readings) from the inputs and outputs events in the bees' hives. That will allow the reduction of costs and sizes in the solar panels and from the batteries as well.

Keywords: bees, weather variables, fuzzy logic, energetic efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema dos componentes do sistema da CSIRO e ITV para o monitoramento de abelhas	22
Figura 2 - Esquema dos componentes da miniestação climática (o painel solar é adaptado como sensor de radiação solar)	23
Figura 3 - Localização do Mini-PC e Leitor instalados na Colmeia	24
Figura 4 - Etiquetas eletrônicas usadas nos experimentos	26
Figura 5 - Miniestação Climática no Trabalho de Campo	27
Figura 6 - Exemplo de arquivos CSV	27
Figura 7 - Medição do sistema de leitura de etiquetas eletrônicas	29
Figura 8 - Medição do sistema de leitura de etiquetas eletrônicas realizadas em laboratório.	30
Figura 9 - Modulação por largura de pulso. Definição de período para realizar cálculo do Ciclo de Trabalho	31
Figura 10 - Colmeia cedida para o experimento pela cooperativa de apicultores do Pará (PARAMEL) e fotos do experimento realizado no trabalho de campo	38
Figura 11 - Apresentação da lógica <i>fuzzy</i> ..	41
Figura 12: Lógica <i>fuzzy</i> aplicada a engenharia de controle	42
Figura 13: Exemplo de árvore de decisão	43
Figura 14: Relação entre variáveis de clima e hora com o período de intervalo de leitura. ..	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Gráfico obtido através da função de <i>data logger</i> do multímetro ET-2615A da fabricante Minipa. Período de intervalo entre leitura igual a 1,5 s.	34
Gráfico 2: Consumo de energia do sistema de leitura de etiquetas eletrônicas	37
Gráfico 3: Exemplo de <i>fuzzificação</i> para variável horas do dia.....	40
Gráfico 4: Número de detecção das abelhas (eixo y) de acordo com a temperatura (eixo x).....	46
Gráfico 5: Número de detecção das abelhas de acordo (eixo y) com a radiação solar (eixo x).	47
Gráfico 6: Número de detecção das abelhas (eixo y) de acordo com a hora do dia (eixo x)	48
Gráfico 7: Conjunto <i>fuzzy</i> para a variável temperatura.....	52
Gráfico 8: Conjunto <i>fuzzy</i> para a variável hora do dia.....	53
Gráfico 9: Conjunto <i>fuzzy</i> para a variável radiação solar	53
Gráfico 10: Conjunto <i>fuzzy</i> para a variável período de intervalo de leituras	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplo de árvore de decisão	44
Tabela 2: Perda de número de detecção de acordo com a temperatura	47
Tabela 3: Perda de número de detecção das abelhas de acordo com a radiação solar	48
Tabela 4: Apresenta a perda de número de detecção de acordo com a hora do dia	49
Tabela 5: Mapa das variáveis <i>fuzzy</i> , com suas funções de pertinência e seus respectivos intervalos de valores	51
Tabela 6: Regras de inferências <i>fuzzy</i> adotadas.....	54

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CSIRO – *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*

DS – Desenvolvimento Sustentável

IA – Inteligência Artificial

ITV – Instituto Tecnológico Vale

PC – *Personal Computer*

RFID – *Radio Frequency Identification*

SO – Sistema Operacional

SSH – *Secure Shell*

UR – Umidade Relativa

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1.	Monitoramento Ambiental em Locais Remotos e Desafios Estruturais	15
1.2.	Correlação entre Comportamento de Abelhas e Condições Climáticas.....	15
1.3.	Uso de Etiquetas Eletrônicas (RFID) para Monitoramento de Abelhas	16
1.4.	Objetivos.....	17
1.5.	Estrutura da Dissertação	17
2.	REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA	19
2.1.	Monitoramento de Abelhas com Etiquetas Eletrônicas	19
2.2.	Escolha do Hardware para Monitoramento Ambiental	19
2.3.	Aplicação da IA em Otimização	20
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1.	Materiais	22
3.1.1.	Mini-PC e Leitor	23
3.1.2.	Etiquetas Eletrônicas	24
3.1.3.	Miniestação Climática	25
3.1.4.	Dados	26
3.2.	Trabalho de Laboratório.....	27
3.2.1.	Teste da Hipótese (i).....	29
3.2.2	Teste da Hipótese (ii).....	30
3.3.	Trabalho de Campo	32
3.4.	Métodos	33
3.4.1.	Lógica Fuzzy	34
3.4.2.	Árvore de decisão.....	37

4.	RESULTADOS.....	40
4.1.	Análise dos Dados	40
4.2.	Otimização do Período de intervalo de leitura do Sistema	46
5.	DISCUSSÃO	52
6.	CONCLUSÃO	57
APÊNDICE A - Cálculo de dimensionamento dos componentes para geração fotovoltaica.		64

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo compreende considerações iniciais relevantes e substanciais para a discussão proposta na presente dissertação. Nessa direção, primeiramente, aponta-se os desafios estruturais do monitoramento ambiental quando empregado em locais remotos (seção 1.1). Em seguida, destaca-se a correlação entre o comportamento das abelhas e as condições climáticas, identificando ambientes favoráveis e desfavoráveis à sua movimentação (seção 1.2). Posteriormente, apresenta-se o uso de etiquetas eletrônicas (RFID) para monitoramentos de abelhas (seção 1.3.). Por fim, expressa-se os objetivos da dissertação e sua estrutura (seções 1.4 e 1.5 respectivamente).

1.1. Monitoramento Ambiental em Locais Remotos e Desafios Estruturais

Quando se aplicam redes de sensores ambientais em locais remotos, é comum haver dois pontos críticos estruturais: (i) energia e (ii) comunicação (ESTRIN *et al.*, 2002). Alguns exemplos de monitoramento ambiental em local remoto, a saber: *Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis* (DART), *Global Seismographic Network*, *The Georgia Automated Environmental Monitoring Network*, *Nacional Science Foundation Polar UV Monitoring Network* (HART e MARTINEZ, 2006).

Se o monitoramento de colmeia utilizando etiquetas eletrônicas for aplicado em local remoto onde não há disponibilidade da rede elétrica, haverá a necessidade de uma geração elétrica de fonte alternativa e geração fotovoltaica (energia solar) é a principal escolha nestas situações. Sabe-se que quanto menor a necessidade de energia para funcionamento do sistema de monitoramento, menor poderá ser o dimensionamento dos dispositivos necessários para geração fotovoltaica. Isto implicará em custos menores, que facilitará a viabilidade do monitoramento.

1.2. Correlação entre Comportamento de Abelhas e Condições Climáticas

Kerr *et al.* (2015) destaca a importante contribuição das mudanças climáticas para o declínio na população das abelhas, mais especificamente das abelhas do gênero *Bombus*. Já Malerbo-Souza e Silva (2011) destaca as condições climáticas

favoráveis para as jornadas em busca de néctar e pólen das abelhas africanizadas *Apis mellifera* L. Já Hilário, Imperatriz-Fonseca e Kleinert (2000); Teixeira e Campos (2005) fizeram trabalhos semelhantes, que se diferenciam pelo trato voltado às abelhas sem ferrão, nos quais levaram em consideração não só as condições climáticas, mas também a força das colônias (volume populacional) e tamanho das abelhas.

Portanto, este trabalho tem como premissa inicial a compreensão de que as abelhas têm seu comportamento impactado pelas condições do microclima externo à colmeia. Busca-se aqui validar esta hipótese e a partir dela condicionar o evento de leitura de etiquetas eletrônicas (forma de monitoramento de colmeias usada neste trabalho) para acompanhar o nível de detecção de movimentos das abelhas que carregam as etiquetas.

1.3. Uso de Etiquetas Eletrônicas (RFID) para Monitoramento de Abelhas

A utilização de etiquetas eletrônicas (RFID) tem se mostrado uma tecnologia eficaz de acompanhamento das atividades das abelhas (principalmente horários de saída e retorno das colmeias). Ela se mostrou muito adequada, principalmente para abelhas de grande porte (e.g., *Apis mellifera*, *Bombus* sp.), (STREIT *et al.*, 2003; DECOURTYE *et al.*, 2011; SCHNEIDER *et al.*, 2012; HENRY *et al.*, 2012).

O Instituto Tecnológico Vale (ITV) e o *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* (CSIRO) estabeleceram um projeto, denominado *Swarm Sensing*, que visa o desenvolvimento e a otimização de etiquetas eletrônicas que permitam o monitoramento ambiental (DE SOUZA *et al.*, 2016). O projeto obteve melhorias significativas na utilização de etiquetas eletrônicas em abelhas alcançando um desempenho de leitura (distância entre antenas de leituras e etiquetas) de até cem vezes maior do que as disponíveis comercialmente. Isto aconteceu graças às melhorias nas etiquetas, no leitor e na redução do tamanho dos computadores a serviço do sistema. Essa melhoria de desempenho e redução de tamanho permite que o sistema seja instalado em áreas remotas. Entretanto, o consumo energético, principalmente do leitor das etiquetas, é um fator limitante. Para que se consiga operar o sistema em uma área remota são necessários painéis solares de grande porte que gerem energia suficiente para que o sistema funcione

não apenas de dia, mas também tenha energia em baterias para funcionar durante toda a noite.

1.4. Objetivos

O objetivo desta dissertação é a proposta, desenvolvimento e avaliação de um método para diminuir o consumo de energia do sistema de monitoramento de colmeias utilizando etiquetas eletrônicas. O que facilitará a utilização do sistema em áreas remotas e a diminuição de custos de operação (painéis solares e baterias menores são mais baratos).

Os objetivos específicos foram classificados como marcos, que juntos permitiram o sucesso da dissertação. No Capítulo 3 serão detalhados os objetivos específicos.

Os objetivos específicos são:

- a) Obter características energéticas do sistema de leitura;
- b) Elaborar estratégia para racionamento do evento de maior consumo energético;
- c) Otimizar consumo de energia através de um método automatizado.

1.5. Estrutura da Dissertação

A dissertação é composta por seis capítulos, nos quais se compreendem o referencial teórico e a fundamentação científica (Capítulo 2), os materiais e métodos (Capítulo 3), o resultado (Capítulo 4), a discussão (Capítulo 5), conclusão (Capítulo 6), Referências e Apêndice A. A seguir é apresentado um resumo sobre o conteúdo dos capítulos:

- O Capítulo 2 corresponde ao referencial teórico e fundamentação científica, nele são apresentados trabalhos sobre monitoramento de abelhas com etiquetas eletrônicas, escolha do *hardware* para monitoramento ambiental e aplicação de IA em problemas de otimização.
- O Capítulo 3 apresenta materiais e métodos. Em materiais são declarados os materiais e dados que compõem a dissertação e são detalhados os trabalhos

tanto de laboratório quanto de campo, assim como as hipóteses validadas para caracterizar o consumo de energia do sistema. Já em métodos são expostas as possíveis técnicas que podem ser empregadas para se obter a otimização que o trabalho propõe e justificativa da escolha da técnica.

- O Capítulo 4 descreve os resultados em duas etapas: (i) análise dos dados do trabalho de campo correlacionando detecção das abelhas que utilizam etiquetas eletrônicas com dados de clima e hora; (ii) otimização do período de intervalo de leitura através da análise dos dados. Em (i) é comparado o percentual dos dados da detecção real das abelhas que utilizam etiquetas eletrônicas (obtidos através do trabalho de campo) com o percentual que seria perdido caso fosse alterado para mais o período de intervalo de leitura. Já em (ii) é mostrada como foi feita a otimização pelo método de IA escolhido e comparado ao consumo de energia com e sem a otimização.
- O Capítulo 5 mostra a discussão onde são apresentadas as vantagens e desvantagens dos métodos e das técnicas empregadas na solução para a otimização de consumo de energia que a dissertação propõe. O Capítulo também aponta trabalhos futuros.
- O Capítulo 6 trata da conclusão onde são reportadas as dificuldades encontradas no desenvolvimento da dissertação.
- O Apêndice A desenvolve cálculos para dimensionamento dos componentes de uma geração elétrica fotovoltaica (energia solar) isolada da rede.

2. REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA

Este Capítulo tem como foco: (i) monitoramento de abelhas com etiquetas eletrônicas, abordando os desafios tecnológicos; (ii) importância da escolha do *hardware* para o monitoramento ambiental; (iii) a aplicação da IA para otimização, fazendo comparação entre as técnicas.

2.1. Monitoramento de Abelhas com Etiquetas Eletrônicas

Streit *et al.* (2003) realizou um trabalho pioneiro quanto ao uso de etiquetas eletrônicas para monitoramento de abelhas. A taxa de erro de seu leitor de etiquetas eletrônicas foi de 1 em cada 300 para uma distância máxima de leitura de 3mm, entretanto o leitor de etiquetas só era capaz de ler apenas uma etiqueta por vez. Henry *et al.* (2012) e Schneider *et al.* (2012) utilizaram tecnologia semelhante para o monitoramento de abelhas e as limitações tecnológicas obrigaram seus experimentos a usar um número elevado de leitores, estas restrições implicaram em custos elevados dificultando a replicação dos experimentos.

2.2. Escolha do *Hardware* para Monitoramento Ambiental

A escolha do *hardware* para o monitoramento ambiental aplicado a locais remotos requer uma atenção especial, pois um erro pode acarretar tanto a inviabilidade do estudo quanto ocasionar lacunas no monitoramento por problemas de manutenção (HART e MARTINEZ, 2006). Os requisitos críticos para a escolha do *hardware* normalmente são bateria e comunicação. A escolha da fonte energética não se restringe ao *hardware*, em conjunto também é escolhida a estratégia para o gerenciamento de energia para que se possa tornar o sistema mais robusto e independente de intervenção humana (MARTINEZ *et al.*, 2004).

Corke *et al.* (2010), Rundel *et al.* (2009), Martinez *et al.* (2004) e Estrin *et al.* (2002) usaram como estratégia de gerenciamento energético em locais remotos o racionamento do evento de maior consumo energético e como fonte energética um misto entre baterias e painéis solares, onde o revezamento ocorre de acordo com a disponibilidade solar.

2.3. Aplicação da IA em Otimização

A IA pode ser empregada na classificação, seleção, aprendizagem, reconhecimento de padrões e estabelecer inferências. Problemas de otimização podem ser facilmente solucionados por IA e a escolha da técnica pode variar tanto com a natureza do problema quanto com o desempenho dela como solução do problema (WANG e LIU, 2006; RUSSELL e NORVIG, 1995).

O uso mesclado de técnicas de IA pode proporcionar um melhor desempenho da solução, já que uma pode ser melhor que a outra em uma solução local, e juntas podem se complementar para uma solução global (BITTENCOURT, 2008; ZHOU e CHEN, 2002).

Soluções em eficiência energética geralmente passam por análise do perfil de consumo (SANTOS e LUCAS JÚNIOR, 2004), análise de rendimento dos equipamentos (FREITAS *et al.*, 2008) e análise de fator de potência do sistema elétrico (MARINS e BARBI, 2006). As análises sobre o perfil de consumo energético remetem aos padrões de usabilidade do sistema. Estes padrões permitem a elaboração de regras de controle que podem otimizar o consumo de energia. Duas técnicas de IA se destacam como solução para definição das regras de controle, (i) lógica *fuzzy*¹ e (ii) árvore de decisão. O principal diferencial entre elas se dá na origem das regras, em (i) as regras são sugeridas por um especialista e em (ii) são sugeridas via processamento de um computador.

A lógica *fuzzy* é empregada usualmente no tratamento de incertezas e para validação de inferências providas do conhecimento tácito de um especialista (Ekel *et al.*, 2003). Em comparação com outras técnicas de IA a lógica *fuzzy* permite uma maior flexibilidade tanto na construção de funções de pertinência quanto na base de regras das inferências, isso dá ao programador uma liberdade maior de adaptá-la aos problemas parcialmente diferentes (BARIN *et al.*, 2010; EKEL *et al.*, 2003).

Árvore de decisão é uma técnica de IA muito usada na mineração de dados, seus resultados são um conjunto ordenado de regras onde cada regra é obtida através de um caminho da árvore. As regras obtidas são do padrão, “se antecedente, então consequente” (PERISSINOTTO e MOURA, 2007; SHIBA *et al.*,

¹ A lógica *fuzzy* também é conhecida como lógica nebulosa ou lógica difusa, a opção por usar o termo *fuzzy* se deu por ser o mais usual como palavra-chave em trabalhos de IA (embora *fuzzy* seja um termo em inglês).

2005). Há várias formas de avaliar as regras extraídas, assim como há vários algoritmos para a construção das árvores de decisões. A principal desvantagem da técnica é a demanda por processamento para se obter as regras.

O trabalho utiliza a lógica *fuzzy* como meio de extrair as regras de controle, pois se o trabalho for integrado ao projeto *Swarm Sensing* será necessário atender os requisitos do computador usado sistema de monitoramento de colmeia que não suporta um grande volume de processamento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este Capítulo é ordenado em materiais (Seção 3.1), trabalho de laboratório (Seção 3.2), trabalho de campo (Seção 3.3) e métodos (Seção 3.4).

Na próxima seção (Seção 3.1) são apresentados os materiais e os dados usados neste trabalho. Já em trabalho de laboratório (Seção 3.2) é feita a caracterização do consumo de energia do sistema. E em trabalho de campo (Seção 3.3) são relatadas as visitas semanais para colagem de etiquetas eletrônicas e captura de dados do sistema. Por fim, em métodos (Seção 3.4) explica-se a técnica aplicada para a otimização energética.

3.1. Materiais

A Figura 1 mostra um esquema com os componentes do sistema de leitura dos experimentos de monitoramento de colmeias utilizando etiquetas eletrônicas usada neste trabalho. Sabe-se que a fonte de energia é sempre preferível à opção da rede elétrica, porém raramente ela está disponível quando o monitoramento é aplicado em local remoto. Portanto, dependendo do local em que se irá realizar o monitoramento, pode ser necessária a criação de uma fonte de energia independente, na qual a escolha da energia fotovoltaica se destaca por ser conveniente a instalação e manutenção.

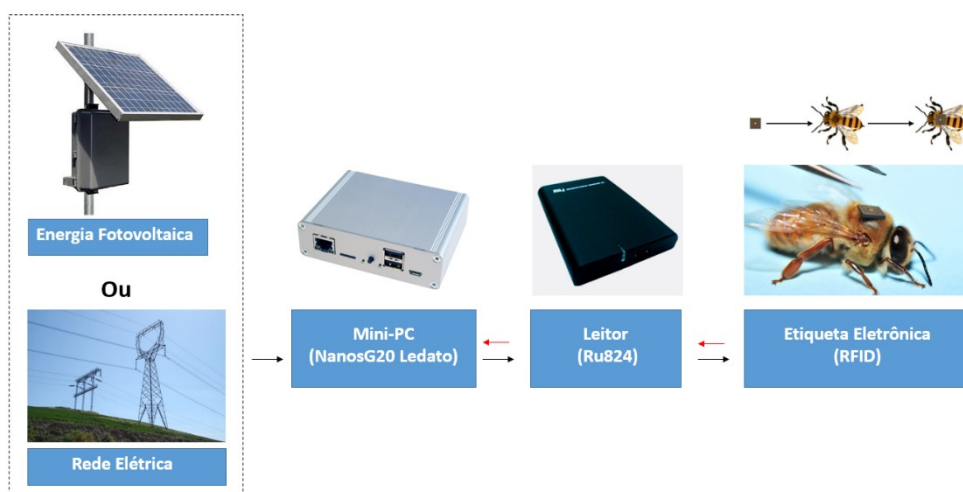


Figura 1: Esquema dos componentes do sistema da CSIRO e ITV para o monitoramento de abelhas usado neste trabalho. A seta preta mostra a ordem da conexão de alimentação de energia, já a seta vermelha mostra a ordem do retorno dos dados da etiqueta eletrônica.

O monitoramento de colmeia realizado para este trabalho foi uma prova de conceito, seu objetivo principal era testar a tecnologia em clima amazônico, porém também foi aproveitada para estudar a correlação entre detecção das abelhas que utilizaram etiquetas eletrônicas com variáveis de clima e hora. Para isso foi desenvolvida uma miniestação climática que será apresentada na Figura 2.

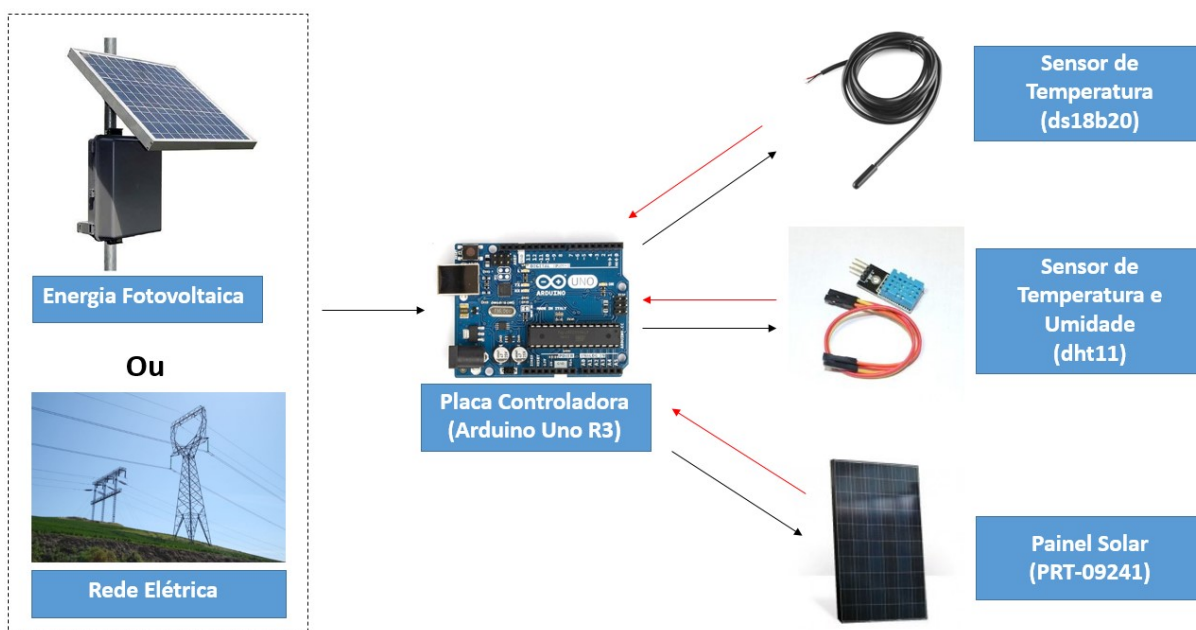


Figura 2: Esquema dos componentes da miniestação climática (o painel solar é adaptado como sensor de radiação solar). A seta preta mostra a ordem da conexão de alimentação de energia, já a seta vermelha mostra a ordem do retorno dos dados dos sensores.

Assim como o sistema de monitoramento de colmeias (Figura 1), a miniestação climática (Figura 2) também pode funcionar em locais remotos com uma fonte de energia alternativa. A miniestação climática além de monitorar sobre a hora, monitora três variáveis de clima: temperatura, umidade e radiação solar. Portanto, há três sensores correspondentes as variáveis de clima. A seguir são detalhados os componentes e seu modo de aplicação nos sistemas.

3.1.1. Mini-PC e Leitor

O Mini-PC, nanosG20 ledato, é responsável por controlar o leitor via *software*, além de processar e armazenar os dados do monitoramento. Ele contém SO *Linux Debian* instalado, duas portas USB, uma Ethernet, conexão Micro SD e RS 232 e RS485. A transferência de arquivos é feita via conexão SSH pela porta Ethernet e o leitor é conectado pela porta USB.

O leitor, ru824, lê as etiquetas através de uma antena interna. Quando a etiqueta eletrônica entra na região do campo eletromagnético (radio frequência) do leitor, ela é energizada e transfere seu código de identificação (dados). A leitura simultânea de várias etiquetas se dá através de um sistema anticolisão e a distância máxima de leitura (*read range*) é aproximadamente 30 cm com o auxílio de uma antena externa.



Figura 3: Localização do Mini-PC e Leitor instalados na Colmeia. (A) local onde fica armazenado o Mini-PC, (B) local onde fica armazenado o Leitor.

A colmeia usada neste trabalho segue o padrão Langstroth² como se pode observar na Figura 3 a entrada da colmeia foi modificada para instalação do leitor (dimensão do leitor 5,8 x 8,0 x 1,3 cm) e foi acrescentada também uma caixa de distribuição de energia residencial (dimensão da caixa 18,7 x 13,3 x 7,8 cm) que foi usada para armazenar o Mini-PC.

3.1.2. Etiquetas Eletrônicas

As etiquetas eletrônicas, também referenciadas aqui como microsensores, são identificadores por rádio frequência (RFID) que permitem a identificação do horário de entrada e saída das abelhas à medida que passam pelo leitor instalado na

² http://www.apiarioballoni.com/II-PAADRAO_LANGSTROTH.html

entrada da colmeia. As etiquetas usadas nos experimentos possuem 2,5 x 2,5 x 0,4 mm de dimensão e 5,4mg de massa, foram desenvolvidas pela CSIRO e ITV e fabricadas pela *Hitachi Chemical*. A Figura 4 além de fazer a comparação da etiqueta com objeto pequeno, também mostra uma abelha fazendo uso dela.



Figura 4: Etiquetas eletrônicas usadas nos experimentos. (A) Comparação de tamanho entre uma etiqueta e uma moeda de um real. (B) Etiqueta instalada no tórax de uma abelha.

Segundo Núñez (1982) as abelhas *Apis mellifera* são capazes de transportar até 70mg de massa. Streit *et al.* (2003) usaram etiquetas eletrônicas que pesavam 2,4mg; Decourtye *et al.* (2011) e Henry *et al.* (2012) usaram etiquetas que pesavam aproximadamente 3 mg; as de Schneider *et al.* (2012) pesavam 4mg e a da CSIRO e ITV pesa aproximadamente 5,4mg. O maior tamanho e massa das etiquetas do CSIRO e ITV em comparação a trabalhos correlatos se deve às modificações feitas para a capacidade de serem lidas várias etiquetas simultaneamente e para o melhor desempenho de distância de leitura.

3.1.3. Miniestação Climática

A miniestação climática possui uma placa controladora (Arduino Uno R3³), sensor de temperatura (ds18b20⁴), sensor de temperatura e umidade (dht11⁵) e um painel solar PRT-09241⁶ de 5,2W usado como sensor de radiação solar. A miniestação ainda possui dois circuitos auxiliares, um para gravação dos registros em cartão de memória⁷ e outra para não perder o registro de data e hora em caso de

³ <http://arduino.cc>

⁴ <http://www.dalsemi.com>

⁵ <http://www.aosong.com>

⁶ <https://www.sparkfun.com/products/9241>

⁷ <https://www.sparkfun.com/products/12761>

queda de energia⁸. A Figura 5 expressa uma ideia geral da Miniestação Climática, focando sua instalação próximo a colmeia estudada.



Figura 5: Miniestação Climática no Trabalho de Campo.

3.1.4. Dados

Tanto os dados de atividade das abelhas quanto os dados das variáveis de clima e hora são gravados em arquivos de formato CSV. Para melhor entendimento a Figura 6 explica com detalhes cada arquivo.

2014.06.25-B01.csv	2014.06.25-Clima.csv
-----	-----
11:34:54,B00003000000000000000000000000000	25/6/14,11:35:15,33.00,33.63,37,8.49
12:19:05,B00002810000000000000000000000000	25/6/14,11:35:16,33.00,33.63,37,8.45
12:31:47,B00002810000000000000000000000000	25/6/14,11:35:17,33.00,33.63,37,8.39
13:28:56,B00003000000000000000000000000000	25/6/14,11:35:18,33.00,33.69,37,8.37
14:51:16,B00003000000000000000000000000000	25/6/14,11:35:19,33.00,33.69,37,8.42

(A) Atividade das abelhas. (B) Variáveis de clima e hora.

Figura 6: Exemplo de arquivos CSV. (A) e (B) apresentam o formato dos arquivos. (A) corresponde a um arquivo criado diariamente pelo *software* de controle do Mini-PC para registro das atividades das abelhas, o título do arquivo sempre recebe a data do dia em que é criado junto com a identificação da colmeia. Dentro do arquivo é registrada a hora que ocorreu a atividade seguida pela identificação única da etiqueta que a abelha carrega, onde os quatro primeiros dígitos correspondem ao código da colmeia que pertence a abelha, em seguida os outros quatro dígitos representam a identificação única da abelha e o restante dos dígitos são preenchidos com zero, pois, não tem validade neste teste de conceito. (B) é um exemplo de arquivo gerado diariamente pela Miniestação Climática, recebem como título a data em que é gerado o arquivo, ao lado é acrescentada a palavra clima. Os valores dos dados são separados por vírgulas. A primeira informação na ordem da esquerda para a direita é a data que corresponde ao dia em que estão sendo gravados os registros, depois vem a hora do registro, seguido por temperatura do sensor de temperatura e umidade, depois a temperatura do sensor só de temperatura, umidade relativa do ar do sensor de temperatura e umidade e radiação solar obtida através do painel solar.

⁸ <http://www.arduinoecia.com.br/2013/04/real-time-clock-rtc-ds1307.html>

As unidades das variáveis da Miniestação Climática são graus Celsius (°C) para temperatura, porcentagem (%) para umidade relativa do ar e volts (V) para a radiação solar.

3.2. Trabalho de Laboratório

Para facilitar a compreensão sobre as medições é necessário que as definições de potência elétrica, trabalho realizado e período estejam claras. Para isso segue um breve resumo:

$$P = \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (1)$$

$$\tau = q \cdot U \quad (2)$$

$$P = \frac{q \cdot U}{\Delta t} \quad (3)$$

$$i = \frac{q}{\Delta t} \quad (4)$$

$$P = i \times U \quad (5)$$

A expressão (1) mostra potência (P) como razão entre o trabalho (τ , ΔE) em transportar energia e a variação no tempo (Δt) para realizar o transporte. A expressão (2) mostra o trabalho como resultado da multiplicação entre a carga elétrica (q) a ser transportada e a diferença de potencial (U) necessária para o transporte. Já a expressão (3) é a substituição de (2) em (1) e a expressão (4) mostra que a corrente elétrica (i) é igual à razão entre carga elétrica e o tempo (Δt) que se levou para o transporte da carga. Finalmente a expressão (5) mostra potência igual a multiplicação entre corrente elétrica e a diferença de potencial (tensão elétrica).

As unidades referentes ao sistema internacional de unidades (SI) para potência é *Watt* (W), para trabalho é *Joule* (J), para o tempo na aplicação das expressões (1), (3) e (4) é segundos (s), para carga elétrica é *Coulomb* (C), para diferença de potencial (tensão elétrica) é *Volts* (V) e para corrente elétrica é *Ampère* (A).

Em laboratório, primeiramente, foram realizados testes para identificar o evento de maior consumo de energia do sistema de leitura do monitoramento de colmeias. A primeira hipótese testada foi leitura de etiquetas como evento de maior consumo.

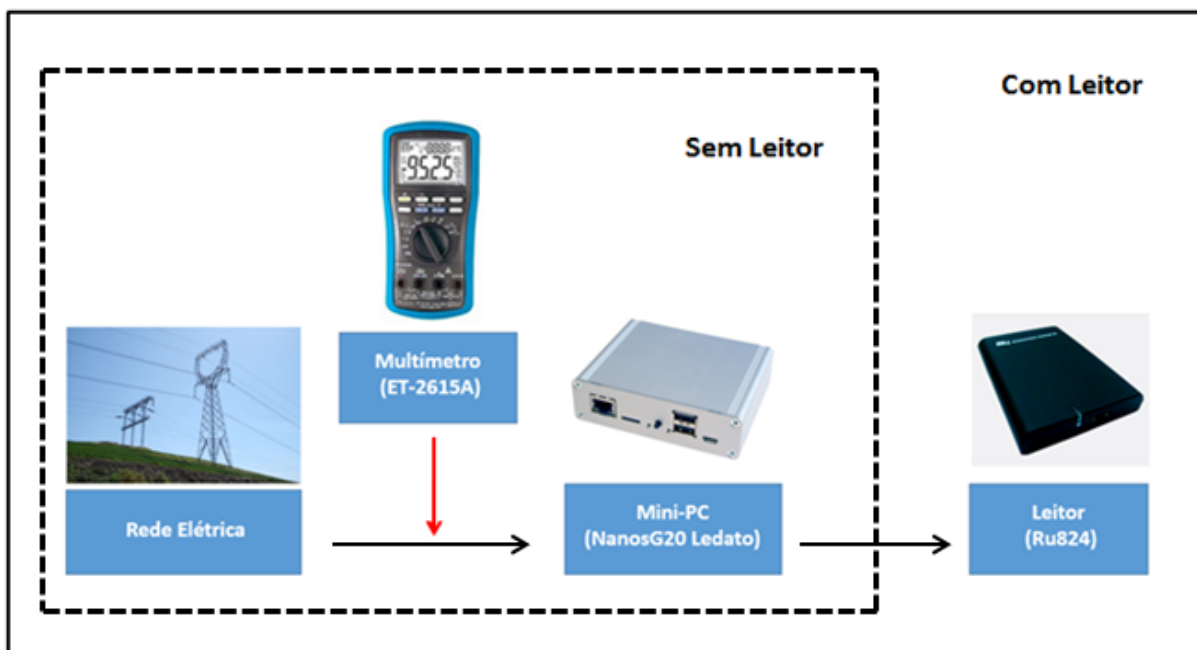


Figura 7: Medição do sistema de leitura de etiquetas eletrônicas. A seta preta mostra a conexão elétrica dos componentes e a seta vermelha mostra o ponto em que é medida a corrente elétrica (Ampères) que se passa para o sistema.

Mediu-se a corrente elétrica entregue ao sistema para através dela calcular a potência que o sistema realizou (tensão elétrica é de 5V constante). Um teste simples foi realizado para verificar a hipótese do evento de leitura como o de maior consumo energético. Mediu-se a corrente do sistema com o leitor acoplado e posteriormente sem o mesmo (conforme a Figura 7). A potência calculada para a medição com o leitor foi aproximadamente 2W e para a medição sem o leitor foi aproximadamente 0,8W. Logo, fica claro que o evento de maior consumo de energia no sistema é leitura de etiquetas eletrônicas.

A fim de caracterizar como a leitura de etiquetas eletrônicas consome energia foram avaliadas duas hipóteses: (i) há aumento do consumo de energia de acordo com a quantidade de etiquetas eletrônicas que o leitor lê; (ii) se aumentar o período de intervalo de leitura (período em que não há leitura de etiquetas) diminui o consumo de energia.

3.2.1. Teste da Hipótese (i)

Para testar a hipótese, foi feito uso do multímetro ET-2615A da fabricante Minipa, por possuí a funcionalidade *data logger* que permite a gravação de registros e interface com um computador. O experimento para o teste de hipótese consistiu na medição da corrente elétrica do sistema ao passo que se acrescentou etiquetas próximo ao leitor para serem lidas. O experimento realizou a leitura de quatro conjuntos de etiquetas eletrônicas, o primeiro conjunto contém nenhuma etiqueta, o segundo uma etiqueta, o terceiro cinco etiquetas e o quarto e último dez etiquetas.

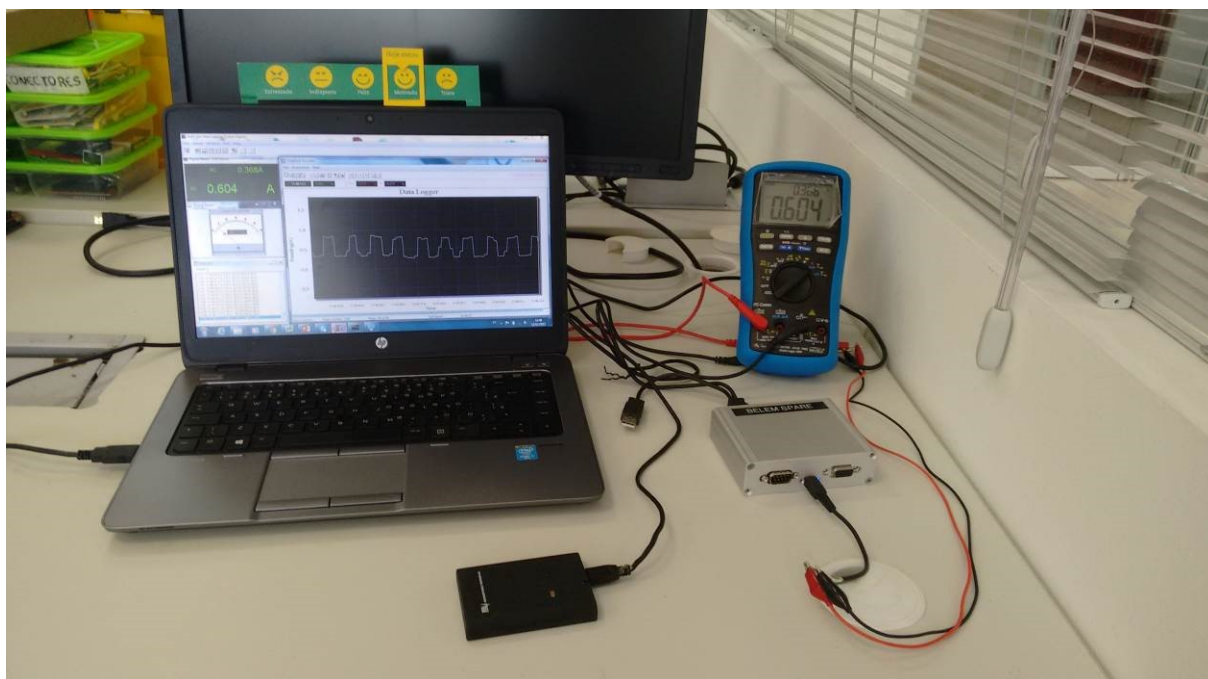


Figura 8: Medição do sistema de leitura de etiquetas eletrônicas realizada em laboratório.

A Figura 8 mostra como foram feitos os testes em laboratório para verificação da hipótese (i). Não foi constatada uma tendência sistemática quanto os valores das medições, se observou uma oscilação na faixa de 0,02Wh. Portanto, conclui-se que não há variações significativas no consumo de energia do sistema se o número de etiquetas eletrônicas lidas variar, porém, existem outros fatores que contribuem para o consumo de energia do sistema (um exemplo seria o consumo de energia do sistema operacional) e estes justificam a pequena oscilação do consumo.

3.2.2 Teste da Hipótese (ii)

O *software* de controle do leitor realiza o controle por um método que se assemelha a modulação de largura de pulso (*Pulse-Width Modulation*, PWM), então este método será usado como exemplo comparativo para explicar como é realizado o controle do leitor.

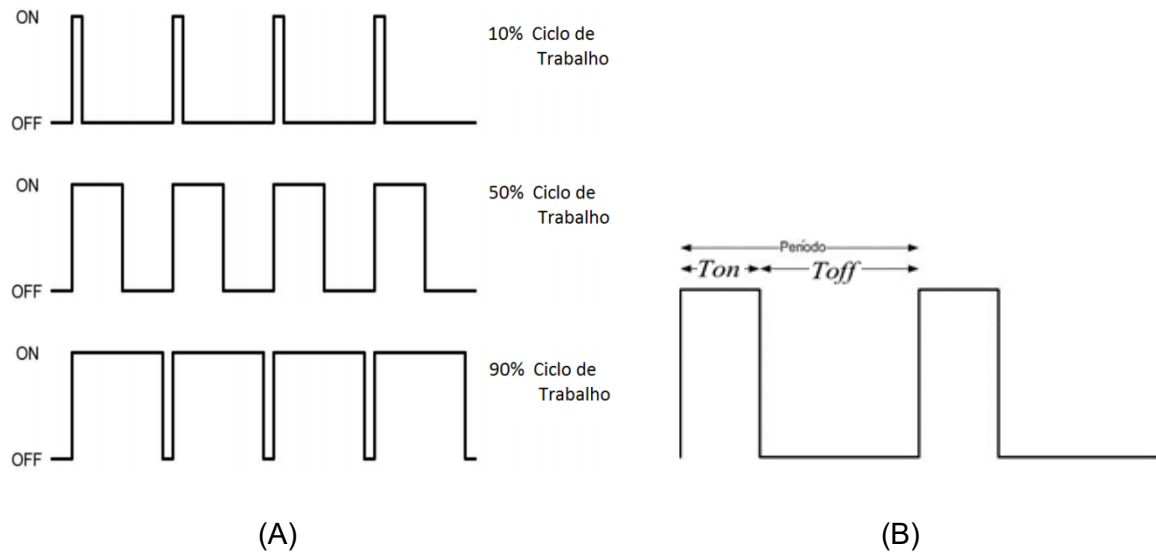


Figura 9: Modulação por largura de pulso. (A) Mostra períodos completos de largura do pulso que compreendem aos períodos em que pulso está alto (*on*) juntamente com os períodos que o pulso está baixo (*off*). O Ciclo de Trabalho é uma razão entre período de pulso alto e período completo (pulso alto mais pulso baixo); (B) Apresenta a definição de período que é a soma do período *Ton* e *Toff*, o período é usado para realizar cálculo do Ciclo de Trabalho.

$$\text{Largura de Pulso} = T_{on} \quad (6)$$

$$\text{Período} = T = T_{on} + T_{off} \quad (7)$$

$$\text{Ciclo de Trabalho} = \frac{\text{Largura de Pulso}}{\text{Período}} \times 100 \quad (8)$$

Usando a modulação por largura de pulso junto com as expressões (6), (7) e (8), para explicar o *software* de controle do leitor, a largura do pulso representaria o período com maior percentual de corrente elétrica e o período que o leitor está efetivamente lendo as etiquetas eletrônicas (Figura 9. (B)). Sendo assim, seguindo a

analogia, quanto maior a largura do pulso maior será a potência elétrica e o período que se realizam leituras (Figura 9. (A)).

Diferente da modulação por largura de pulso o *software* de controle não exerce controle sobre o tempo ativo (T_{on}) que se realizam as leituras, faz uso apenas do tempo de intervalo entre as leituras, ou seja, o T_{off} na analogia com a modulação por largura de pulso. Isto faz com que os comportamentos das ondas de medição de corrente do sistema sejam diferentes dos da modulação por largura de pulso, mudando de forma de acordo com a mudança do tempo de intervalo entre as leituras (embora em alguns casos também aconteça da forma de onda ser bastante semelhante à do PWM, como é o caso do Gráfico 1).

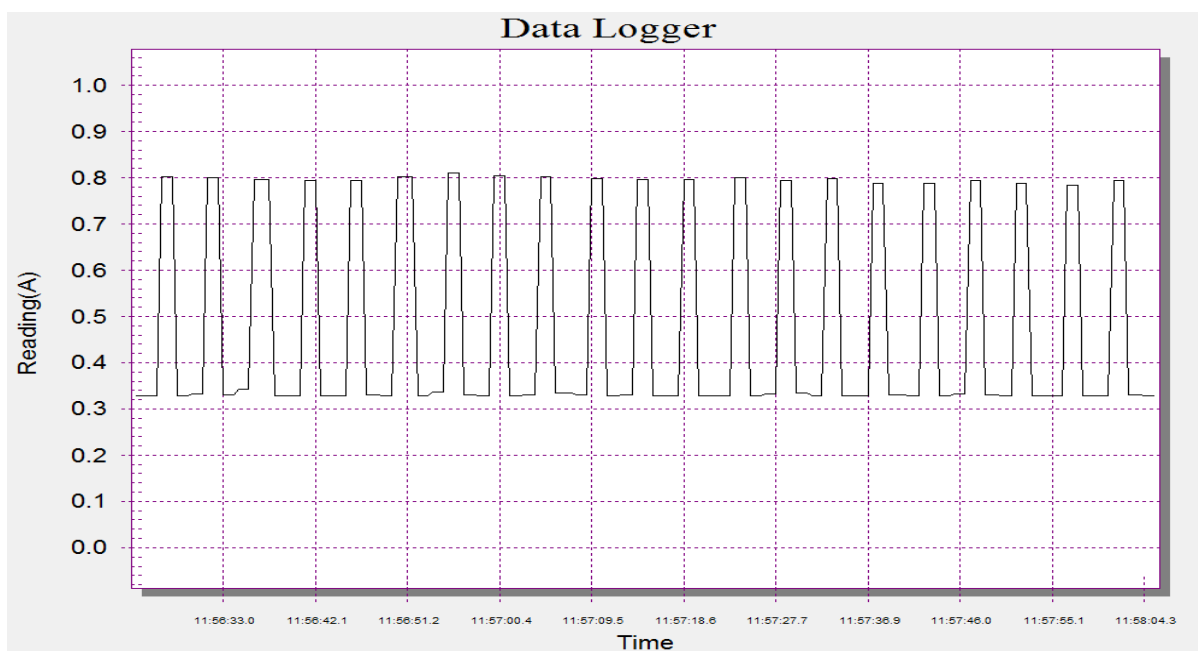


Gráfico 1: Gráfico obtido através da função de *data logger* do multímetro ET-2615A da fabricante Minipa. O gráfico mostra a forma de onda da corrente elétrica do sistema de leitura de etiquetas eletrônicas para período de intervalo entre leitura igual a 1,5s.

As medições foram feitas em triplicadas e em ordem aleatória para mitigar possíveis erros sistemáticos do multímetro (SOUZA JÚNIOR e BRASIL, 2009). Ou seja, foram feitas três medições de consumo de energia para cada período de intervalo de leitura e a sequência das medições seguiu em ordem aleatória, o resultado médio são os valores que podem ser observados no Gráfico 2.

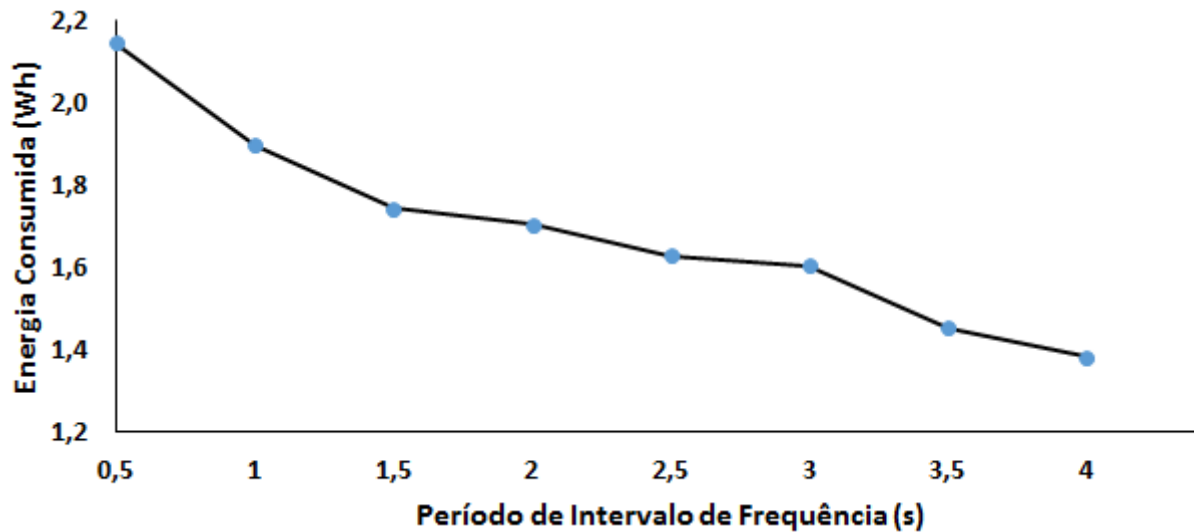


Gráfico 2: Consumo de energia do sistema de leitura de etiquetas eletrônicas. Teste de hipótese do efeito da variação do período de intervalo de leitura (s) sobre o consumo de energia do sistema (Wh). As medições foram realizadas para períodos de 0,5s, 1,0s, 1,5s, 2,0s, 2,5s, 3,0s, 3,5s e 4,0s. Através do teste pode-se observar uma correlação negativa⁹ entre energia consumida e período de intervalo de leitura (T_{off}), isto mostra que quanto maior o valor do período de intervalo de leitura menor será a energia consumida pelo sistema de leitura.

O Gráfico 2 conclui que o consumo de energia do sistema diminui se o período de intervalo de leitura (T_{off}) do sistema variar positivamente.

3.3. Trabalho de Campo

O trabalho de campo foi realizado em Santa Bárbara do Pará aproximadamente quarenta e cinco quilômetros da capital Belém. A Figura 10 mostra os procedimentos realizados em casa visita.

⁹ O termo correlação usado neste trabalho é empregado no sentido de que duas variáveis tendem a se mover conjuntamente no mesmo sentido (correlação positiva), ou em sentido contrário (correlação negativa). Portanto, não se utiliza o conceito estatístico e não se calcula as correlações.



(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 10: Fotos do experimento realizado no Trabalho de Campo. (A) Colmeia cedida para o experimento pela cooperativa de apicultores do Pará (PARAMEL); (B) Preparação para o processo de colagem das etiquetas eletrônicas; (C) Processo de colagem das etiquetas eletrônicas nas abelhas.

Duas pessoas precisam ser envolvidas neste processo (uma imobiliza a abelha e outra cola a etiqueta). Todas as abelhas etiquetadas no experimento foram selecionadas na entrada da colmeia; (D) Processo de transferência dos dados. Os dados armazenados no Mini-PC eram transferidos toda semana para realização posterior de análises. A transferência dos dados entre Mini-PC e notebook era feita via conexão SSH (uso da porta Ethernet).

Uma vez por semana eram realizadas as visitas de campo para fazer colagem de etiquetas eletrônicas nas abelhas e coletar os dados do Mini-PC. As colagens das abelhas eram feitas com cola *super bonder*. Foram etiquetadas mil quinhentas e vinte abelhas, o experimento foi realizado no período de 28/05/2014 a 16/07/2015.

3.4. Métodos

A Seção discute possíveis métodos e procedimentos que podem promover a otimização do consumo de energia do sistema de monitoramento de colmeia

utilizando etiquetas eletrônicas. O evento que promove essa otimização é a variação crescente do período de intervalo de leitura das etiquetas eletrônicas. Este trabalho tem como premissa que as abelhas têm sua dinâmica de movimentação alterada de acordo com a hora e o microclima externo a colmeia, ou seja, as abelhas se movimentam mais ou menos rápido conforme varia a hora e o clima. Busca-se a validação dessa hipótese através da análise dos dados do trabalho de campo. Se a hipótese for válida, será possível aplicar técnicas de IA a fim de estabelecer um controle que altere automaticamente o período de intervalo de leitura do sistema à medida que as condições climáticas mudem.

A seguir são apresentadas técnicas de IA que podem promover a otimização do consumo de energia no sistema de monitoramento de colmeia através de regras de controle.

3.4.1. Lógica Fuzzy

A lógica *fuzzy* é uma técnica de IA que permite o tratamento de incertezas apoiado em inferências empíricas, ou de um especialista, ou através de análise de dados sobre um sistema (CREMASCO; GABRIEL FILHO e CATANEO, 2010; DE LIMA CANEPPELE e SERAPHIM, 2013; DOS SANTOS *et al.*, 2013). Portanto, esta técnica permite a transmissão do conhecimento tácito para um conhecimento explícito, é usualmente empregada para apoiar tomadas de decisões onde a experiência do especialista muitas das vezes é o fator determinante para a decisão, logo uma desvantagem da lógica *fuzzy* é o lado subjetivo em julgar a experiência do especialista e suas decisões.

A lógica *fuzzy* tem como fluxo de funcionamento uma etapa de normalização, também chamada de *fuzzificação*, que permite que os valores das variáveis sejam normalizados para lógica *fuzzy* na qual obtém-se intervalos de valores classificados por nomes, que facilita o tratamento para a montagem das inferências. A montagem das inferências e seus tratamentos, também chamados de base de regras, operam por métodos com base na lógica proposicional e na teoria de conjuntos. O método que permite a transformação das inferências baseadas nos conjuntos classificados por nome em um valor numérico é denominado *defuzzificação*. O Gráfico 3

apresenta um exemplo de *fuzzificação* da variável horas do dia e a Figura 11 exibi os elementos que integram a lógica *fuzzy*.

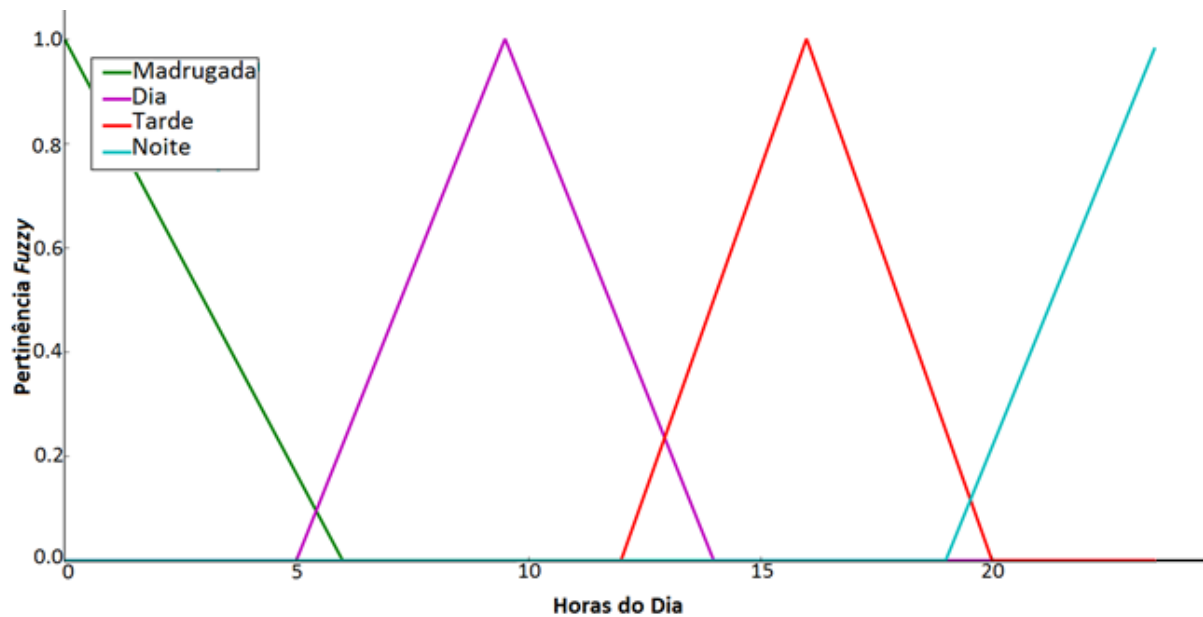


Gráfico 3: Exemplo de *fuzzificação* para variável horas do dia. O eixo x compreende ao domínio da variável, isto é, a faixa entre valores mínimo e máximo que a variável pode assumir. O eixo y representa o quão pertinente ao *fuzzy* é cada função de pertinência (subconjuntos classificados por variável lingüística, madrugada, dia, tarde e noite), a variação de pertinência dos subconjuntos *fuzzy* compreende ao intervalo entre zero e um, onde zero significa não pertinente e um totalmente pertinente. Como a lógica *fuzzy* é um método para tratamento de incertezas, logo as fronteiras entre as funções de pertinências não são claras (são incertas).

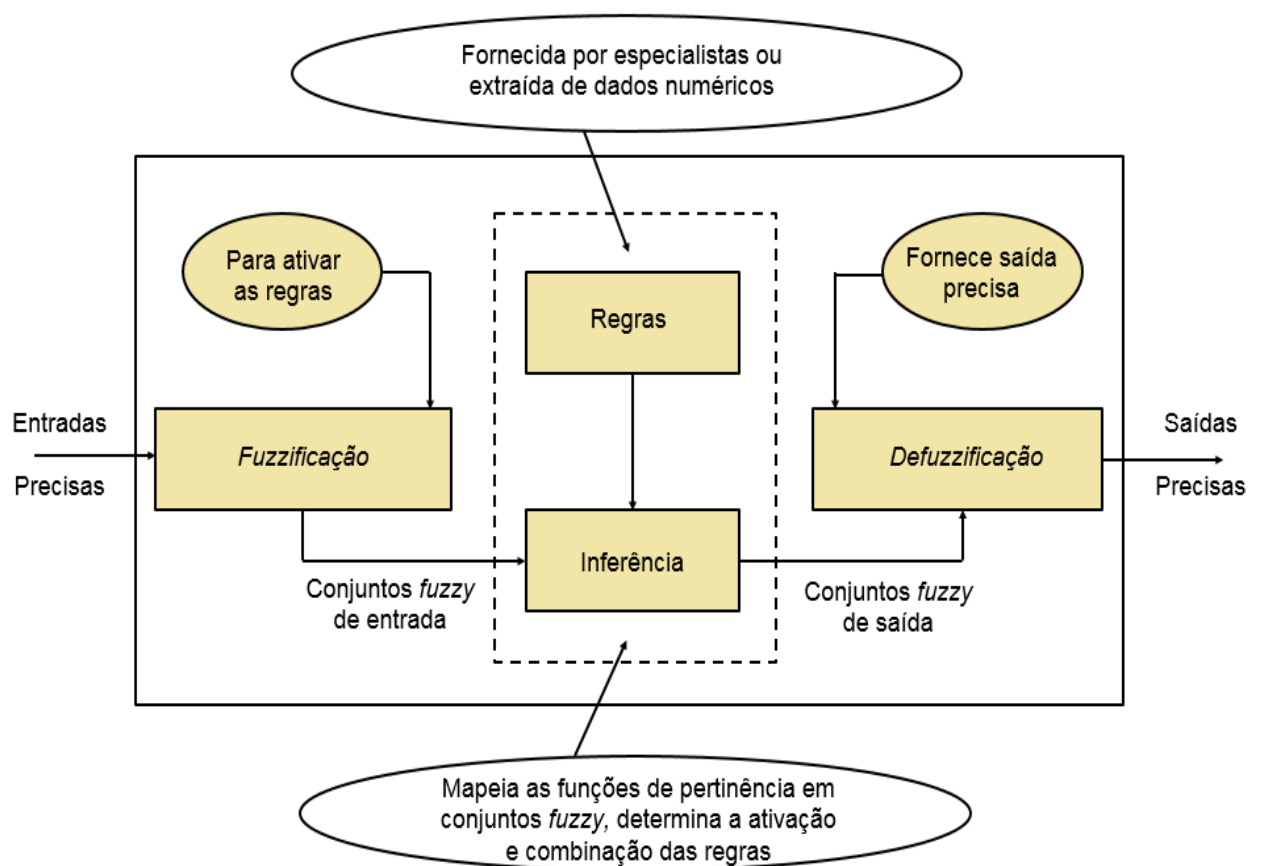


Figura 11: Apresentação da lógica *fuzzy*. A figura mostra os processos envolvidos na lógica. Sendo a *fuzzificação* e a *defuzzificação* processos de normalização dos valores tanto para serem usados dentro da lógica quanto fora da lógica nebulosa. O bloco de regras representa as inferências feitas a partir de conhecimento empírico ou de um especialista sobre o processo e o bloco de inferência representa o método usado para validação das inferências. O método referente ao bloco de inferência usado neste trabalho é o Takagi Sugeno e referente ao bloco de *defuzzificação* é o Centroide.

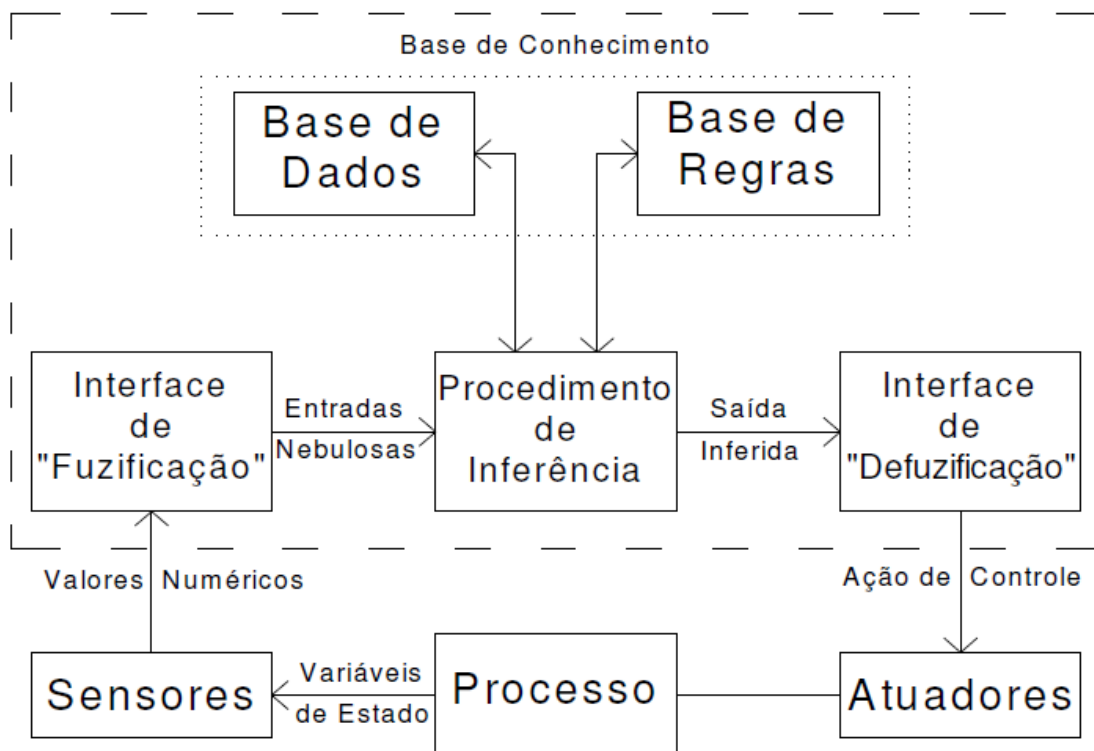


Figura 12: Lógica *fuzzy* aplicada à engenharia de controle. Onde a lógica *fuzzy* compreende ao bloco de controle do processo, recebendo informações através de valores dos sensores e enviando valores para os atuadores operarem para a ação de controle no processo.

Fonte: MATHWORKS (1999).

A lógica *fuzzy* pode ser vista do ponto de vista da engenharia de controle (Figura 12) onde as inferências sobre o sistema são usadas para o controle do mesmo. O uso da lógica *fuzzy* é recomendado para a etapa de otimização, porém, para construir o conjunto de regras *fuzzy* que irão permitir otimizar o período do intervalo de leituras (logo consumo de energia) é necessária a análise dos dados históricos do trabalho de campo (Seção 3.3), pois, não há especialista sobre abelhas e o conhecimento empírico sobre o comportamento delas é muito frágil.

3.4.2. Árvore de decisão

Árvores de decisões são empregadas tipicamente em problemas de classificação (MONARD e BARANAUKAS, 2003). A otimização do consumo de energia que a dissertação propõe pode ser vista por esse aspecto, já que a estratégia proposta para otimizar é variar positivamente o período de intervalo de

leitura das etiquetas eletrônicas em momentos que há uma movimentação mais lenta das abelhas que carregam as etiquetas, então, essa variação nada mais é que a classificação desses momentos.

As árvores de decisões promovem as soluções (regras) ramificando-as em níveis hierárquicos inferiores até todas as possíveis soluções sejam respondidas, as construções das regras acontecem através da leitura de todos os possíveis caminhos que o nó raiz possa tomar até a última folha, que é a condição de parada (Figura 13). A Tabela 1 mostra a lista de regras obtidas através da árvore de decisão apresentada na Figura 13.

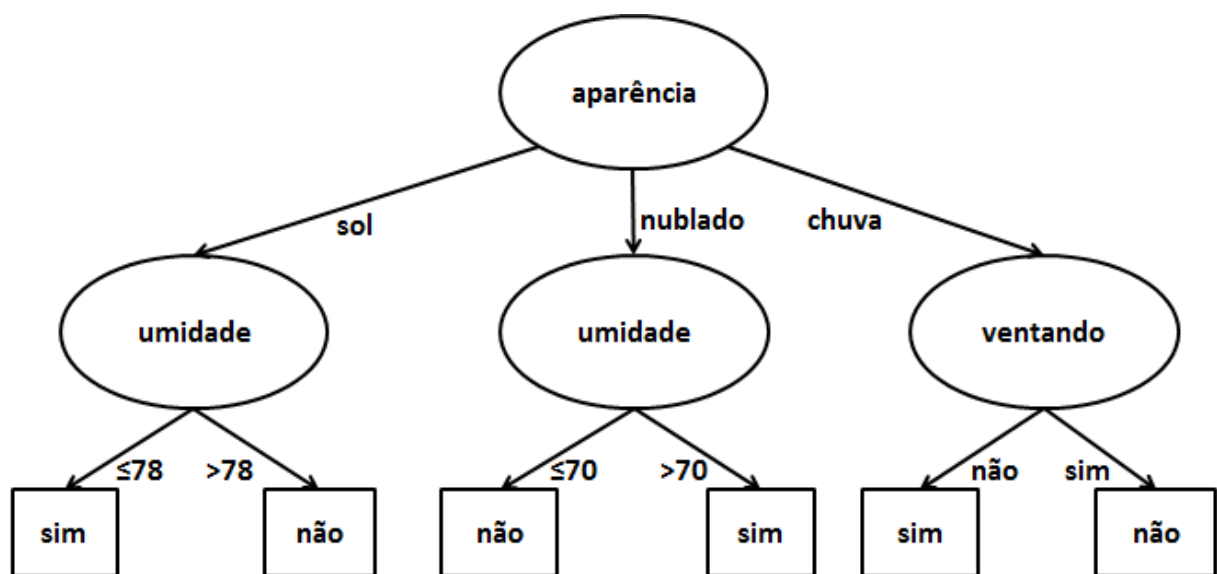


Figura 13: Exemplo de árvore de decisão. Exemplo para auxiliar a tomada de decisão em viajar ou não, baseada nas condições climáticas. Cada caminho possível da árvore representa um sequenciamento de condições de clima e o último nível inferior apresenta o aconselhamento para a tomada de decisão.

Fonte: Adaptado de MONARD e BARANAUSKAS (2003).

Teste	Exemplo	Aparência	Temperatura	Umidade	Ventando	Viajar?
if aparência = sol e umidade $\leq$ 78	T_1	sol	25	72	sim	sim
	T_3	sol	22	70	não	sim
if aparência = sol e umidade $>$ 78	T_2	sol	28	91	sim	não
	T_4	sol	23	95	não	não
	T_5	sol	30	85	não	não
if aparência = nublado	T_6	nublado	23	90	sim	sim
	T_7	nublado	29	78	não	sim
	T_8	nublado	19	65	sim	não
	T_9	nublado	26	75	não	sim
	T_{10}	nublado	20	87	sim	sim
if aparência = chuva e ventando = não	T_{11}	chuva	22	95	não	sim
	T_{14}	chuva	25	81	não	sim
	T_{15}	chuva	21	80	não	sim
if aparência = chuva e ventando = sim	T_{12}	chuva	19	70	sim	não
	T_{13}	chuva	23	80	sim	não

Tabela 1: Exemplo de árvore de decisão. Exemplo para auxiliar a tomada de decisão em viajar ou não, baseada em condições climáticas. Cada caminho possível da árvore representa um sequenciamento de condições de clima que equivale a uma regra para o auxílio na tomada de decisão.

Fonte: Adaptado de MONARD e BARANAUSKAS (2003).

Optou-se por trabalhar com lógica *fuzzy*, por ela demandar um processamento inferior em comparação com a árvore de decisão. Quanto menor for a necessidade de processamento da sugestão em otimização desta dissertação, maior será a capacidade de processamento que restará para a função principal do Mini-PC, que é processar e armazenar as informações das etiquetas eletrônicas carregadas pelas abelhas.

Todo o *software* de controle do sistema de leitura foi desenvolvido na linguagem de programação *Python*, então a fim de facilitar uma possível integração este trabalho também foi desenvolvido em *Python*.

4. RESULTADOS

Este Capítulo apresenta os resultados obtidos através dos dados do trabalho de campo. São expostas tanto à análise dos dados, feita para correlacionar as variáveis de clima e hora com o número de detecções de abelhas, quanto à economia em energia alcançada através da otimização do período de intervalo de leitura do sistema.

4.1. Análise dos Dados

Nessa etapa o objetivo é avaliar se variáveis de clima e hora podem ser identificadores de diminuição de atividade/movimentos e assim alterar o período de intervalo de leitura (T_{off}) para diminuir o consumo de energia.

Foi escolhido para a análise o período de 26 de junho a 31 de agosto de 2015, que teve o período de intervalo de leituras igual a 0,5 segundos¹⁰. O período contém 4.595 registros de detecção de 43 abelhas. Dessas detecções de movimentos, 1.893 são consideradas atividades (movimentos que ocorrem com intervalo de tempo menor que 3 minutos). Dessa forma, é conceituado detecção qualquer registro de leitura e atividade como sendo detecções de movimentos que ocorreram com intervalo de tempo menor que 3 minutos.

Para explicar como foi feita a avaliação de como a mudança do período de intervalo de leituras (T_{off}) impactariam nos registros de detecção das abelhas, foi realizado o seguinte procedimento:

- 1) Cada bloco de detecção com intervalo de tempo menor que 3 minutos, é considerado uma atividade.
- 2) O arquivo de registros de detecção das abelhas com etiquetas eletrônicas (Figura 6. (A)) é percorrido com períodos de intervalo de leituras (T_{off}) de 1s, 2s e 3s a fim de contar quantas detecções de abelhas etiquetadas seriam perdidas com o aumento do período.

¹⁰ Embora o leitor esteja configurado para ler a cada 0,5 segundos, o arquivo de registro do Mini-PC armazena os registros em segundo apenas, dessa forma, a avaliação realizada considera apenas o segundo da leitura (Figura 6). Um trabalho futuro é ajustar o arquivo de registros a fim de que o mesmo passe a armazenar o milissegundo da leitura.

- 3) Se as detecções perdidas não contabilizarem a perda total da atividade, a atividade ainda será considerada válida.
- 4) É feita uma porcentagem para perdas calculadas das atividades, que aconteceriam caso houvesse a mudança no período de intervalo de leitura (T_{off}).

Estes procedimentos permitiram a elaboração dos Gráficos 4, 5 e 6 assim como as Tabelas 2, 3 e 4. Os gráficos e tabelas auxiliaram o emprego da lógica *fuzzy* para otimizar o consumo de energia, que será obtida através da melhor adequação do período de intervalo de leitura para as variáveis de clima e hora.

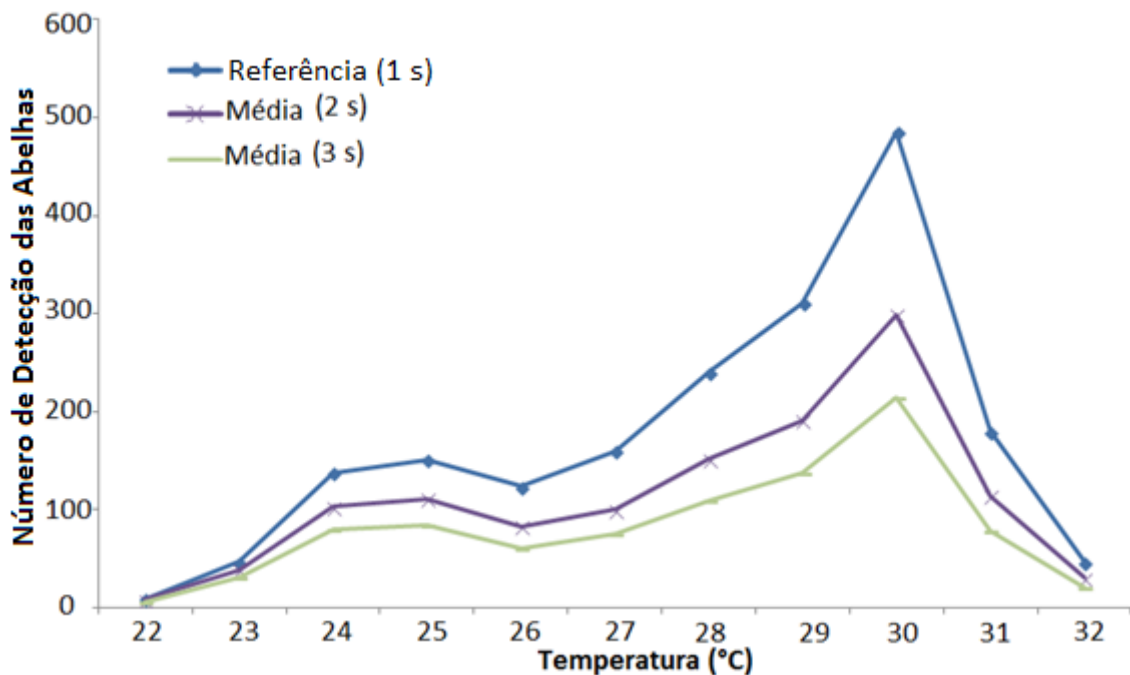


Gráfico 4: Número de detecção das abelhas de acordo com a temperatura. Pode-se ver que, entre 22°C e 24°C o número de detecção para diferentes períodos de intervalo de leituras são próximos.

Temperatura	Referência de Detecções ($T_{off} = 1s$)	Média de Detecções ($T_{off} = 2s$)	Perda Calculada ($T_{off} = 2s$)	Média de Detecções ($T_{off} = 3s$)	Perda Calculada ($T_{off} = 3s$)
22°C	9	8,5	5,6%	6,0	33,3%
23°C	47	39,0	17,0%	31,3	33,3%
24°C	138	103,5	25,0%	80,0	42,0%
25°C	151	111,5	26,2%	84,0	44,4%
26°C	124	83,5	32,7%	61,0	50,8%
27°C	160	100,5	37,2%	75,3	52,9%
28°C	241	152,0	36,9%	109,0	54,8%
29°C	311	191,0	38,6%	138,0	55,6%
30°C	485	299,0	38,4%	214,7	55,7%
31°C	180	114,5	36,4%	79,0	56,1%
32°C	47	30,5	35,1%	21,3	54,6%

Tabela 2: Perda de número de detecção de acordo com a temperatura. Pode-se ver que, entre 22°C e 24°C a perda é menor igual a 25% quando consideramos período de intervalo de leitura (T_{off}) de 2s.

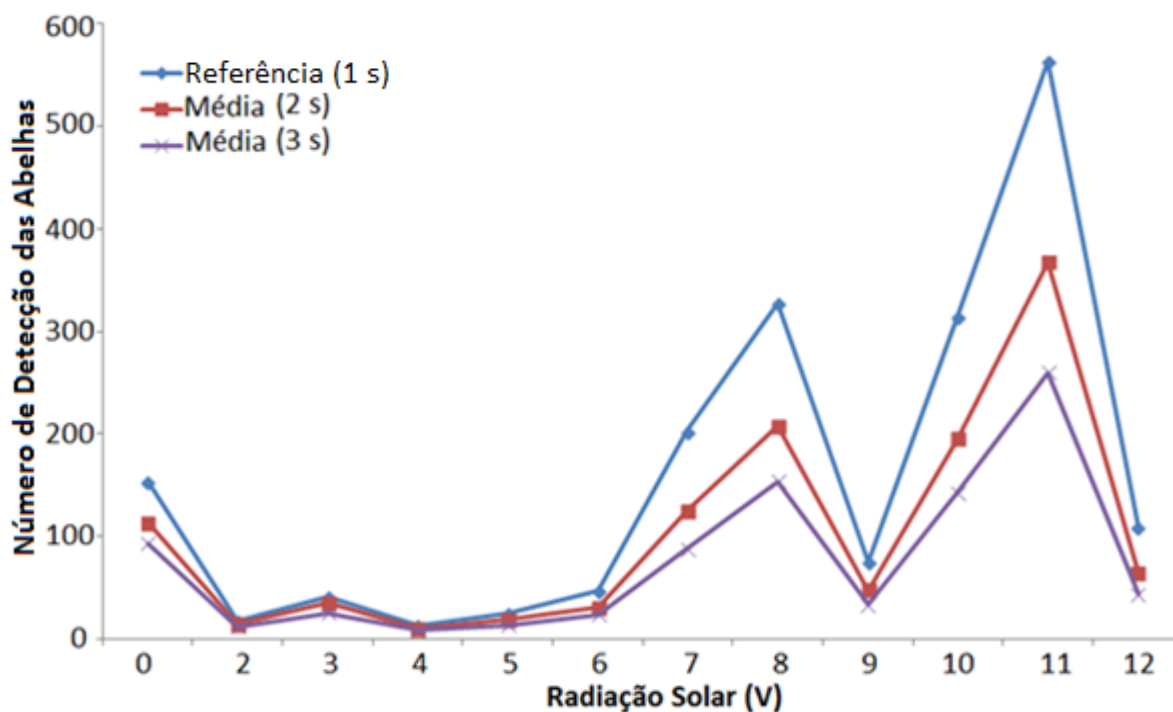


Gráfico 5: Número de detecção de acordo com a radiação solar. Pode-se ver entre 0V e 6V o número de detecção das abelhas com etiquetas eletrônicas é bastante próximo mesmo para diferentes períodos de intervalo de leituras.

Radiação Solar	Referência de Detecções ($T_{off} = 1s$)	Média de Detecções ($T_{off} = 2s$)	Perda Calculada ($T_{off} = 2s$)	Média de Detecções ($T_{off} = 3s$)	Perda Calculada ($T_{off} = 3s$)
0	154	114,0	26,0%	93,3	39,4%
2	18	14,5	19,4%	12,0	33,3%
3	42	35,5	15,5%	25,7	38,9%
4	14	10,0	28,6%	8,7	38,1%
5	25	19,0	24,0%	14,0	44,0%
6	47	31,5	33,0%	24,0	48,9%
7	203	125,5	38,2%	88,0	56,7%
8	328	207,5	36,7%	153,7	53,2%
9	75	48,0	36,0%	33,3	55,6%
10	314	195,5	37,7%	142,7	54,6%
11	563	368,0	34,6%	260,0	53,8%
12	110	64,5	41,4%	44,3	59,7%

Tabela 3: Perda do número de detecção das abelhas de acordo com a radiação solar. Pode-se ver que no grupo entre 0V e 5V as perdas são inferiores a 25% quando é considerado o período de intervalo de leitura (T_{off}) de 2s (como a transição entre os grupos é muito rápida é possível considerar os grupos para 0V e 4V mesmo que as perdas neles sejam superiores a 25%).

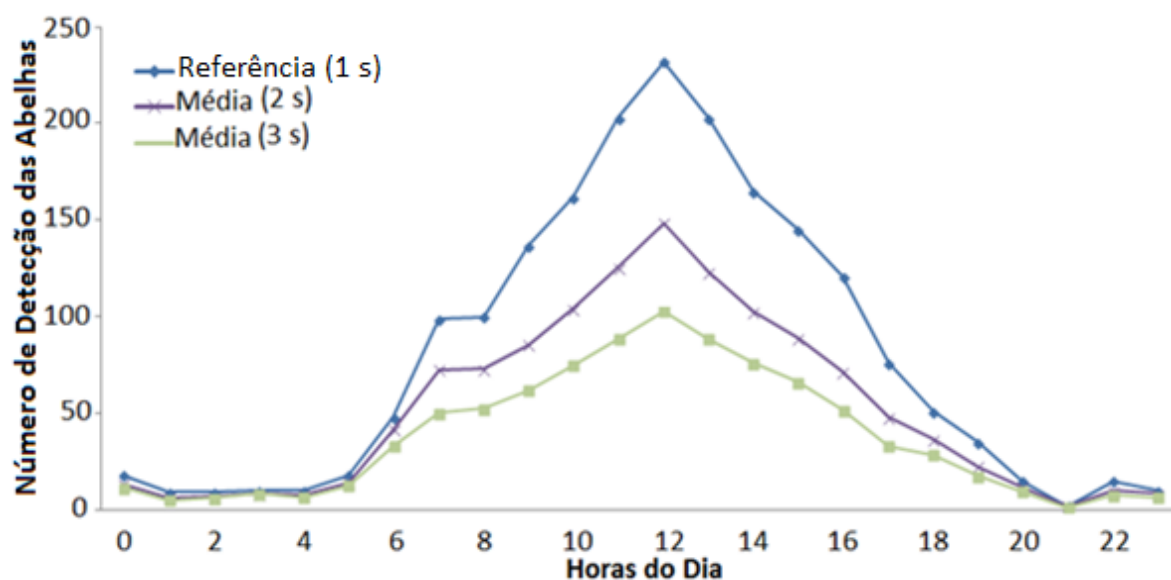


Gráfico 6: Número de detecção das abelhas de acordo com a hora do dia. Pode-se ver que entre 20h e 6h o número de detecção é próximo mesmo com diferentes períodos de intervalo de leituras.

Horas do Dia	Referência de Detecções ($T_{off} = 1s$)	Média de Detecções ($T_{off} = 2s$)	Perda Calculada ($T_{off} = 2s$)	Média de Detecções ($T_{off} = 3s$)	Perda Calculada ($T_{off} = 3s$)
0	18	13,5	25,0%	11,3	37,0%
1	9	6,5	27,8%	5,0	44,4%
2	9	7,0	22,2%	6,0	33,3%
3	10	8,5	15,0%	8,3	16,7%
4	10	8,0	20,0%	6,7	33,3%
5	18	14,0	22,2%	12,7	29,6%
6	48	41,5	13,5%	33,0	31,3%
7	99	72,5	26,8%	50,0	49,5%
8	100	73,0	27,0%	52,3	47,7%
9	137	85,5	37,6%	62,0	54,7%
10	162	104,0	35,8%	75,0	53,7%
11	203	125,5	38,2%	88,7	56,3%
12	232	148,5	36,0%	102,7	55,7%
13	203	123,0	39,4%	88,3	56,5%
14	165	102,5	37,9%	76,0	53,9%
15	145	89,0	38,6%	66,0	54,5%
16	121	71,5	40,9%	51,7	57,3%
17	76	48,0	36,8%	33,0	56,6%
18	51	36,5	28,4%	28,7	43,8%
19	35	22,5	35,7%	17,3	50,5%
20	15	12,0	20,0%	9,7	35,6%
21	2	2,0	0,0%	1,3	33,3%
22	15	10,0	33,3%	7,7	48,9%
23	10	8,5	15,0%	6,3	36,7%

Tabela 4: Apresenta a perda do número de detecção de acordo com a hora do dia. Pode-se ver que, entre 20h e 6h a maioria das perdas são inferiores a 25% quando é considerado o período de intervalo de leituras (T_{off}) de 2s (as horas 1 e 22 estão localizadas em um período aceitável para aumento do período de intervalos de leitura então é possível considerá-las, mesmo que as perdas nelas sejam superiores a 25%).

Os gráficos e tabelas mostram não só a correlação da detecção das abelhas com as variáveis de clima e hora em hora, mas também mostra os possíveis impactos que mudança no período de intervalo de leitura (T_{off}) causaria na

quantidade de registros. É considerado como tolerável uma perda de até 25% dos registros.

A percepção empírica adquirida durante o trabalho de campo sobre a correlação das variáveis de clima e hora, com a movimentação das abelhas com etiquetas eletrônicas, foi que a temperatura era proporcional à movimentação das abelhas, ou seja, quanto maior a temperatura maior era a movimentação. Através da análise dos dados percebe-se que a percepção empírica estava correta, embora isto aconteça até o limiar de 30°C e depois o número de detecção de abelhas com etiquetas eletrônicas diminui exponencialmente. Na análise dos dados, a variável que mostra uma distribuição mais próxima a uma normal é a hora, onde é possível afirmar que a movimentação das abelhas é proporcional aos períodos que há disponibilidade solar, a movimentação aumenta com o nascer do sol e diminui com o pôr-do-sol, seu pico de movimentação é às 12 horas. A variável radiação solar apresentou variação em saltos na correlação com o número de detecção de movimentos das abelhas, isso se deve ao fato da improvisação do painel solar como sensor de radiação solar, no qual não houve um controle sobre a variação analógica do painel. A variável umidade não se encontrou disponível no período da análise.

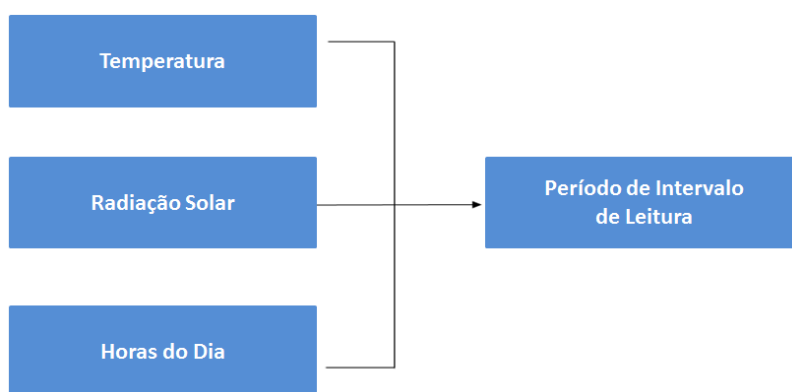


Figura 14: Relação entre variáveis de clima e hora com o período de intervalo de leitura. Através da análise dos dados foi possível identificar a influência das variáveis de clima e hora na dinâmica de movimentação das abelhas, o que permite que o período de intervalo de leituras (T_{off}) seja maior em momentos que a dinâmica de movimentação é mais lenta e economize energia sem prejudicar o volume de dados do experimento de forma significativa.

A Figura 14 apresenta a conclusão dos Resultados deste trabalho. Conclui-se que é possível usar as variáveis de clima e hora para prever um período de

intervalo de leitura mais adequado, otimizando assim o consumo de energia do sistema.

4.2. Otimização do Período de intervalo de leitura do Sistema

O método escolhido para realizar a otimização foi a lógica *fuzzy*. Para cada variável (Tabela 5) é criado um conjunto *fuzzy* que funciona como uma função onde os valores das variáveis são normalizados em relação ao *fuzzy*. Primeiramente, são localizados os intervalos que compreendem a faixa de valores entre mínimo e máximo que cada variável de clima e hora pode assumir. Estes valores serão usados como domínio da função dos conjuntos *fuzzy* e as imagens da função dos conjuntos fuzzy serão o grau de pertinência *fuzzy* que corresponde ao intervalo [0,1], esse processo é conhecido como *fuzzificação* (Gráfico 3).

Entradas			Saída
Temperatura [0 - 33]	Hora [0 - 23.59]	Radiação Solar [0 - 12.22]	Período de l. de Leitura [0.5 - 4.0]
Baixa [0 - 22]	Madrugada [0 - 6]	Baixa [0 - 6]	Curto [0.5 - 1.2]
Moderada [20 - 27]	Dia [5 - 14]	Moderada [5 - 10]	Moderado [1.0 - 2.0]
Alta [26 - 30]	Tarde [12 - 20]	Alta [9 - 12.22]	Longo [1.8 - 3.2]
Muito Alta [29 - 33]	Noite [19 - 23.59]		Muito Longo [3.0 - 4.0]

Tabela 5: Mapa das variáveis *fuzzy*, com suas funções de pertinência e seus respectivos intervalos de valores. As funções de pertinência possuem classificação nominal, que facilita a construção de regras de inferências sobre o sistema. Os intervalos de valores das funções de pertinência foram extraídos da análise dos dados (Seção 4.1) e do teste da hipótese (ii) (Seção 3.2.2).

De acordo com o Gráfico 4 antes de a temperatura alcançar 22°C a correlação com o número de detecção das abelhas é muito baixa; no intervalo de 22°C a 27°C a correlação é positiva e moderada; de 26°C a 30°C a correlação é positiva e alta; e de 30°C a 33°C a correlação é negativa e forte, estes intervalos

foram identificados para a construção das funções de pertinência *fuzzy* como mostra a Tabela 5, como a lógica *fuzzy* trata de incertezas então as fronteiras entre as funções de pertinências não são claras, por isso não há limiar onde uma começa e a outra termina. A variação radiação solar como mostra no Gráfico 5 tem correlação negativa no intervalo de 0V a 2V; de 2V a 6V a correlação é baixa; de 6V a 8V a correlação é positiva e forte; já de 8V a 9V a correlação é negativa e forte; de 9V a 11V a correlação é forte e positiva; e de 11V a 12V a correlação é negativa e forte, foram criadas três funções de pertinência para a variável radiação solar: baixa (de 0 a 6V), moderada (de 5 a 10V) e alta (de 9 a 12,22V).

A variável hora é a que melhor apresenta a correlação com número de detecção das abelhas, sendo que do período da noite e madrugada (de 21 às 5 horas) a correlação é fraca e no período do dia e tarde (de 6 às 20 horas) a correlação é forte, no intervalo de 5 às 12 horas uma correlação positiva e de das 12 às 20 horas uma correlação negativa como mostra o Gráfico 6.

O Gráfico 2 mostra a correlação entre período de intervalo de leitura e a energia consumida por hora, as Tabelas 2, 3 e 4 definem o limite máximo aceitável para o período de intervalo de leitura (T_{off}) em 2s se for ultrapassado este limite o percentual de perda de registros poderá inviabilizar os experimentos.

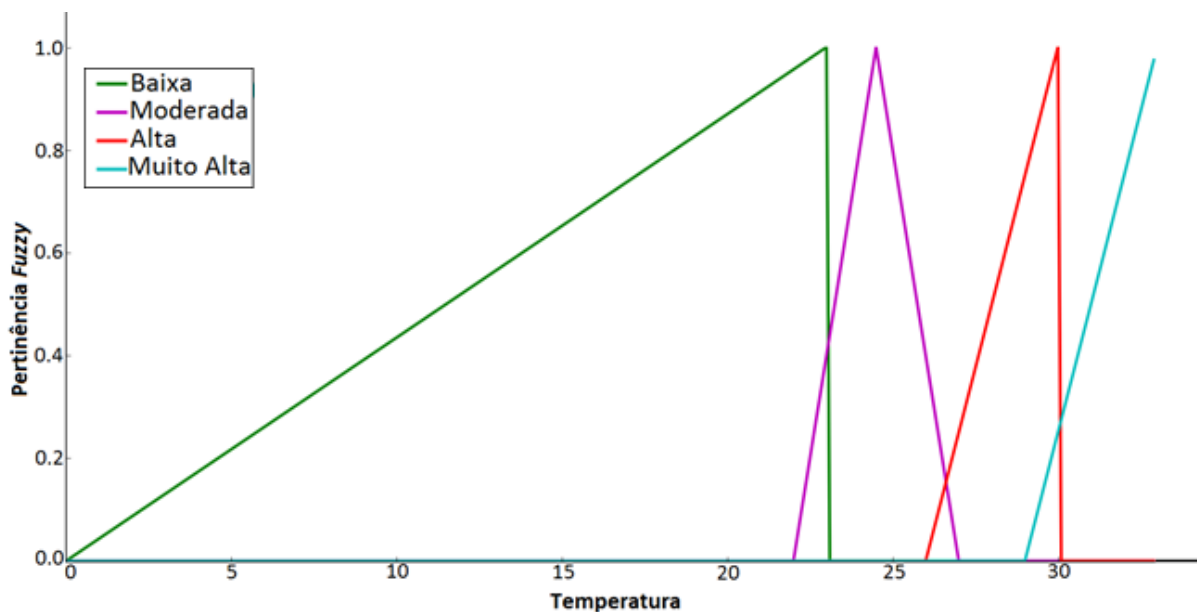


Gráfico 7: Conjunto *fuzzy* para a variável temperatura. As funções de pertinência do conjunto levam em consideração o Gráfico 4 onde é analisada a correlação do número de detecção das abelhas com a temperatura, além da Tabela 2 que mostra o percentual de perda de registros se for alterado o período de intervalo de leitura (T_{off}) para mais.

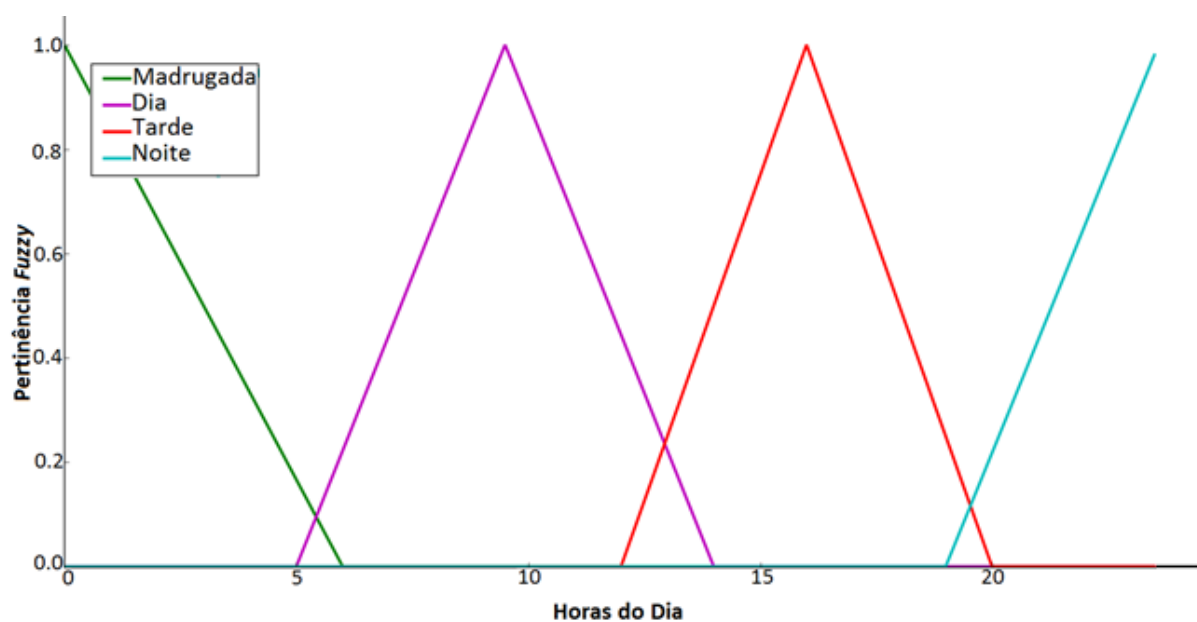


Gráfico 8: Conjunto *fuzzy* para a variável hora do dia. As funções de pertinência do conjunto levam em consideração o Gráfico 5 onde é analisada a correlação do número de detecção das abelhas com a hora do dia, além da Tabela 3 que mostra o percentual de perda de registros se for alterada o período de intervalo de leitura (T_{off}) para mais.

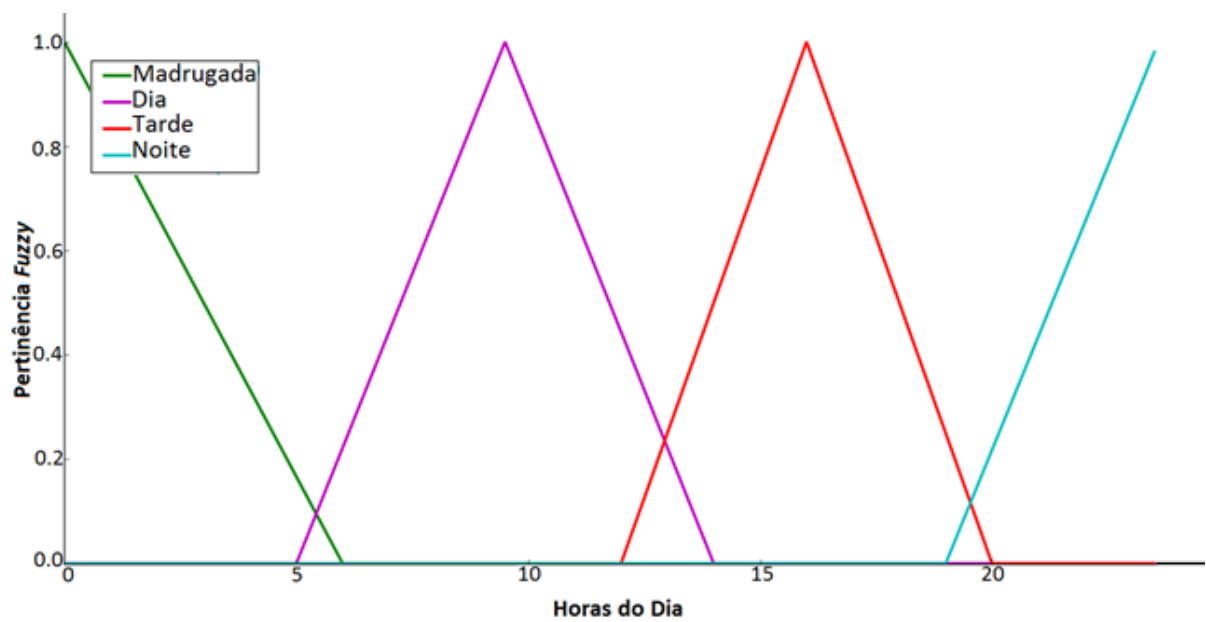


Gráfico 9: Conjunto *fuzzy* para a variável radiação solar. As funções de pertinência do conjunto levam em consideração o Gráfico 6 onde é analisada a correlação do número de detecção das abelhas com a radiação solar, além da Tabela 4 que mostra o percentual de perda de registros se for alterada o período de intervalo de leitura (T_{off}) para mais.

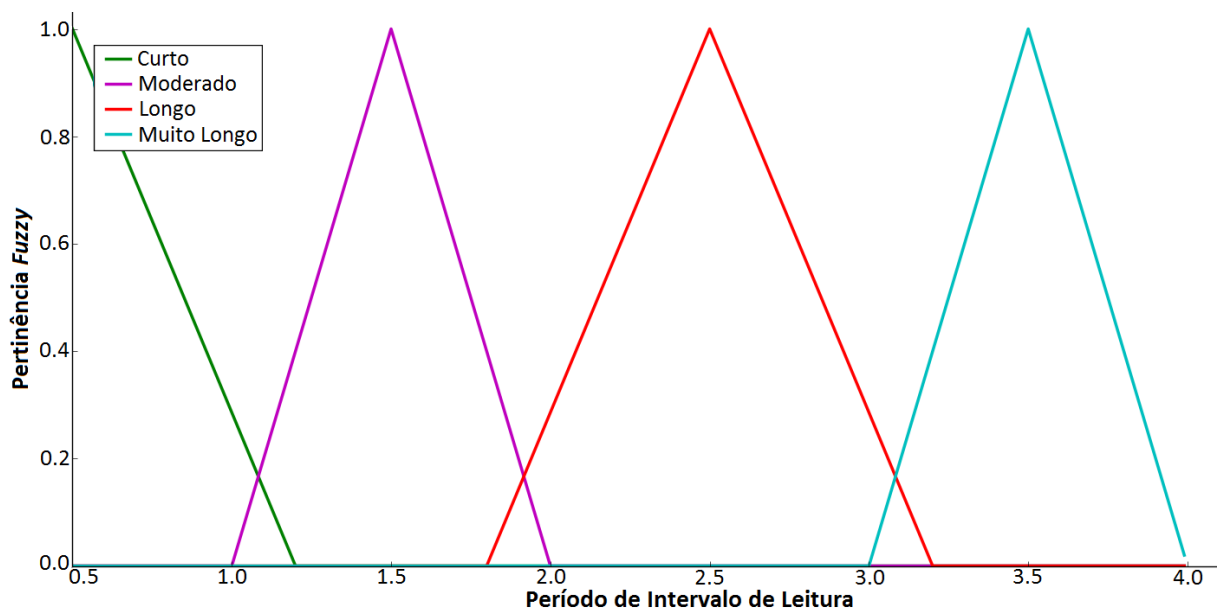


Gráfico 10: Conjunto *fuzzy* para a variável período de intervalo de leituras. As funções de pertinência do conjunto levam em consideração o Gráfico 2, neste é analisada a correlação do período de intervalo de leitura com a energia consumida pelo sistema em uma hora.

A análise dos dados para a construção das regras de inferência *fuzzy* leva em consideração os momentos de correlação positiva e negativa entre as variáveis de clima e hora com o número de detecção das abelhas (Gráficos 4, 5 e 6).

Regras de Inferências <i>fuzzy</i> adotadas								
Regras		Temperatura		Radiação Solar		Hora		Período de I. de L.
1	Se	Baixa	e	Baixa	ou	Madrugada	então	Moderado
2	Se	Baixa	e	Baixa	ou	Noite	então	Moderado
3	Se	Moderada	e	Baixa	ou	Madrugada	então	Moderado
4	Se	Moderada	e	Baixa	ou	Noite	então	Moderado
5	Se	Moderada	e	Moderada	ou	Dia	então	Curto
6	Se	Alta	e	Alta	ou	Dia	então	Curto
7	Se	Alta	e	Alta	ou	Tarde	então	Curto
8	Se	Muito Alta	e	Alta	ou	Tarde	então	Moderado
9	Se	Muito Alta	e	Moderada	ou	Tarde	então	Moderado

Tabela 6: Regras de inferências *fuzzy* adotadas. As regras têm como base a Seção 4.1, mais especificamente os momentos de correlação positiva ou negativa das variáveis de clima e hora em relação ao número de detecção das abelhas.

A lógica *fuzzy* permite o funcionamento com poucas regras de inferência, porém quanto mais se acrescenta regras, mais robusta a lógica fica. A escolha dos conectivos da lógica proposicional (*e*, *ou*) também influencia diretamente no resultado e na robustez da lógica *fuzzy*. O conectivo *ou* empregado para concatenar a variável hora nas regras foi escolhido pelo fato da variável mostrar melhor distribuição (gráfico próximo a uma gaussiana) em relação ao número de detecção das abelhas.

A média por hora do período de intervalo de leitura obtida através da lógica *fuzzy* para o período em que foi realizada a análise dos dados (Seção 4.1) foi 1,23s e como visto na Seção 3.2.2 a energia consumida equivalente a este período é aproximadamente 1,80Wh (Gráfico 2). O período de intervalo de leitura (T_{off}) que operava no sistema no período da análise era de 0,5s que tem a energia consumida equivalente a aproximadamente 2,15Wh (Gráfico 2), logo o sistema economizaria 0,35 Wh através do controle do período de intervalo de leitura via lógica *fuzzy*.

Embora a economia de energia sugerida neste trabalho seja pequena (16,3%), não há o risco de inviabilizar os experimentos, já que foram respeitados os limites de perda de registros das abelhas com etiquetas eletrônicas identificados na Seção 4.1.

A fim de transmitir a ideia de custo benefício que esta dissertação pode agregar se implementada no projeto *Swarm Sensing*, foi feito o Apêndice A que trata do dimensionamento dos principais componentes para geração fotovoltaica isolada da rede elétrica, que são basicamente painéis solares, controlador de carga e baterias.

No Apêndice A são realizados cálculos para o monitoramento de dez colmeias. Os cálculos realizados para o consumo do sistema sem a otimização sugerem a compra de um painel solar de 150W, um controlador de carga de 15A se for escolhido operar com a tensão de 12V ou 7A se for escolhido operar com a tensão de 24V, uma bateria de 70A se a tensão for 12V ou 40A se a tensão for 24V. Os cálculos realizados para o consumo do sistema com a implementação da otimização sugerida por este trabalho sugerem a compra de um painel solar de 120W, um controlador de carga de 10A se a tensão for 12V ou 5A se a tensão for 24V, uma bateria de 60A se a tensão for 12V ou 30A se a tensão for 24V.

5. DISCUSSÃO

As abelhas *Apis mellifera* possuem grande poder de adaptação e estão presentes em quase todas as regiões do planeta, possuem papel fundamental na produção de alimentos por sua função de polinização; atualmente seu volume populacional está diminuindo o que intriga e motiva os cientistas a tentarem explicar os fenômenos que causam esse declínio. As abelhas *Apis mellifera* foram selecionadas para o monitoramento porque são insetos sociais e não são sensíveis a modificações na entrada da sua colmeia (foi necessário modificar a entrada da colmeia para instalação do leitor de etiquetas).

As etiquetas eletrônicas coladas nas abelhas representam peso extra (5,4 mg de massa) e podem impactar tanto na capacidade de transporte de néctar e pólen quanto no desempenho em algumas funções internas na colmeia (devido ao formato quadrangular das etiquetas eletrônicas 2,5 x 2,5 x 0,4 mm), além de poder atrair predadores devido a sua cor metálica. Entretanto, o método de monitoramento de abelhas e colmeias através das etiquetas eletrônicas possui várias vantagens em relação a outros métodos de monitoramento como, por exemplo, o monitoramento por imagem que requer um bom processamento, limitação do número de marcadores individuais e em alguns casos limitação quando há ausência de luz (inviabilizando o monitoramento noturno). As etiquetas eletrônicas suportam até 500 milhões de marcadores diferentes, requerem pouca capacidade energética e pouco processamento para funcionamento e funcionam 24 horas por dia não dependendo de fatores de visibilidade.

Para a fixação das etiquetas eletrônicas, a cola *super bonder* foi a que apresentou melhores resultados, pois ela não é hidrossolúvel, sendo resistente em casos de chuvas fortes ou umidade relativa muito alta (como acontecem frequentemente na região da Amazônia, local onde foi realizado este trabalho). Em clima amazônico as abelhas apresentam forte dinâmica de movimentação, então como técnica de colagem das etiquetas se optou por imobilizar as abelhas com as mãos para poder fixar as etiquetas. Inicialmente não houve preocupação com a qualidade da colagem o que levou a um baixo aproveitamento no registro das abelhas etiquetadas, das vinte e cinco abelhas etiquetadas semanalmente havia registros de apenas cinco abelhas em média, após verificação da técnica de colagem, observou-se que como consequência da falta de tempo para liberar as

abelhas após a fixação das etiquetas que as vezes a cola ainda estava fresca e isto facilitava que as etiquetas se desgrudassem das abelhas, observou-se também que em alguns casos as etiquetas eram coladas em cima das asas das abelhas impossibilitando seu voo após a colagem, depois de estar ciente desses casos foram tomadas providencias e o aproveitamento das abelhas etiquetadas aumentou significativamente.

A Seção 4.1 (Análise dos Dados) apresenta os Gráficos 4, 5 e 6 juntamente com as Tabelas 1, 2 e 3. Os gráficos mostram a variação da quantidade de detecções das abelhas que carregam as etiquetas eletrônicas pelas variáveis de clima e hora. Já as tabelas mostram a referência de detecções obtida através do arquivo de registro de detecções de movimentos das abelhas contidas no Mini-PC. A referência de detecções contém o período de intervalo de leitura (T_{off}) igual a um segundo, posteriormente é exibido as médias calculadas das detecções para cada variação positiva em segundos do período de intervalo de leitura (T_{off} igual a dois e três segundos), é possível notar que quanto mais este período varia positivamente menor são os números de detecções de abelhas que seriam obtidas, isto acontece porque o período de intervalo de leituras (T_{off}) é o período em que o leitor de etiquetas não efetua leituras (como foi discutido na Seção 3.2.2). As perdas calculadas são referentes a quantidade de detecções contabilizadas nas médias em relação a referência de detecções, o trabalho admitiu como limite aceitável de perda até 25%.

A estação climática feita para este trabalho teve como propósito verificar o microclima externo a colmeia e registrar as medições em frequências menores que uma estação meteorológica padrão, pois foi necessário saber as variações das variáveis de clima durante os minutos para fazer correlação com o número de detecção das abelhas (as estações meteorológicas padrão só registram a média horaria).

Foi observado durante o trabalho de campo que a dinâmica das abelhas (*Apis mellifera*) no movimento de entrada e saída da colmeia era muito rápido, isso levou a construção da inferência de que era necessário um período de intervalo de leitura (T_{off}) curto para que não fossem perdidos os momentos de movimentação das abelhas, por outro lado foram presenciados momentos em que a dinâmica de

movimentação das abelhas na entrada da colmeia (região onde era localizado o leitor de etiquetas eletrônicas) era muito lenta e isto permitiu a construção da inferência que a probabilidade de se perder registros era pequena, naqueles momentos, então, seria possível que o período de intervalo de leitura fosse alto.

A hipótese testada e validada neste trabalho é de que o microclima e a hora contribuíam para a variação da dinâmica de saída ou entrada das abelhas na colmeia, porém não se pode afirmar que as variáveis de clima e hora são as únicas que contribuem para a variação dessa dinâmica.

Hilário, Imperatriz-Fonseca e Kleinert (2000) estudaram a correlação entre a atividade de voo das abelhas e a força da colônia (volume populacional) para as abelhas *Melipona bicolor bicolor*, onde destacam também o impacto do microclima externo a colmeia na atividade de voo das abelhas, sugerindo faixas de condições climáticas ótimas que favorecem o aumento da atividade de voo das abelhas, sendo essas faixas ótimas de clima diferente para colmeia com diferentes volumes populacionais.

Malerbo-Souza e Silva (2011) pesquisaram condições climáticas que favorecem as abelhas *Apis mellifera* L. saírem em busca de alimento. Teixeira e Campos (2005) estudaram abelhas sem ferrão e validaram a hipótese de que abelhas maiores iniciam suas atividades em temperaturas mais baixas do que as menores. O presente trabalho não considerou a situação populacional da colmeia e nem o tamanho das abelhas.

A análise dos dados (Seção 4.1) não é um processo trivial, pois mesmo que sejam criadas rotinas no Mini-PC que facilitem a análise, ainda pode haver variáveis não observacionais que tenham correlação com a dinâmica de movimentação das abelhas, como um ataque de um predador ou um impacto acidental na colmeia, essas variáveis são difíceis de prever e podem ter correlação muito alta com o número de detecção das abelhas com etiquetas eletrônicas.

As duas técnicas de inteligência artificial destacadas neste trabalho que possibilitam auferir regras de controle para a redução do consumo energético do sistema de monitoramento de colmeia, possuem como principal diferença o meio em que são geradas as regras. Em árvore de decisão as regras procedem do processamento dos dados feito em um computador, já na lógica *fuzzy* as regras são

alcançadas através de inferências humanas sobre o sistema. Essas duas técnicas possuem um ponto falho comum, a subjetividade de julgar a experiência humana sobre o sistema, pois por mais que na árvore de decisão as regras obtidas sejam via processamento de um computador ainda assim pode haver erros causados pela falta de experiência do especialista sobre o sistema, como por exemplo, não considerar algumas variáveis de entrada ou não mensurar impacto de variáveis ocultas. A possibilidade de uma possível integração no futuro deste trabalho ao projeto *Swarm Sensing* foi a principal justificativa pela escolha da lógica *fuzzy*, pois só será possível integrar a otimização de consumo energético se o método empregado demandar pouco processamento do Mini-PC.

Para facilitar a viabilidade econômica dos experimentos de monitoramento de colmeias em locais remotos foi desenvolvida a proposta de eficiência energética deste trabalho que tem como objetivo alcançar a redução do dimensionamento dos componentes necessários para realizar a geração elétrica fotovoltaica isolada da rede. O risco de mau funcionamento no monitoramento causado pela geração de energia fotovoltaica se faz presente quando a capacidade de gerar energia é inferior ou igual a quantidade de energia necessária para funcionamento dos equipamentos ligados a esta rede. O ideal é que o total de energia a ser produzida pela geração fotovoltaica seja maior que a necessidade elétrica para funcionamento dos equipamentos ligados a ela, entretanto, é necessário levar em consideração que quanto maior o dimensionamento dos componentes da geração fotovoltaica maior será o custo sobre ela, então o dimensionamento tem que ser feito de modo que contemple não só a viabilidade técnica como também a viabilidade econômica do projeto.

A robustez de uma geração fotovoltaica isolada da rede elétrica depende não só do dimensionamento certo dos seus componentes, mas também da qualidade dos componentes. Há vários tipos de painéis solares com materiais, forma e rendimento diferentes assim como há vários tipos de baterias e controladores de carga.

Este trabalho apresentou dificuldades no seu desenvolvimento por que o arquivo de registros de detecção das abelhas não condizia com o período de intervalo de leitura (T_{off}) que operava no sistema. O arquivo de registros de detecção das abelhas grava os movimentos em formato hora, minuto, segundo

(HH:MM:SS) enquanto o período de intervalo de leitura operava em 0,5 segundos, então não era possível identificar os intervalos de milésimo de segundo na movimentação das abelhas como sugeria o período de intervalo de leitura (T_{off}).

Como trabalho futuro a sugestão é que se mudem as configurações do arquivo de registros de detecção das abelhas para gravar as movimentações no formato hora, minuto, segundo e milésimo de segundo. E ainda que os sensores de clima fossem integrados ao Mini-PC mesmo que isso leve a troca do mesmo. Testes teriam que ser feitos para saber se o processamento para análise dos dados e ação de controle sobre o período de intervalo de leitura inviabilizaria a robustez do processamento captura de registros de movimentação das abelhas. Outro ponto relevante seria inserir comunicação sem fio no Mini-PC para que fosse possível não só o monitoramento remoto dos dados de detecção das abelhas e da energia do sistema, mas também diminuir a frequência das visitas ao local do experimento, pois quando este local é distante as viagens podem elevar os custos e inviabilizar o experimento. Se a comunicação sem fio fosse inserida a Seção 3.2.1 deveria ser refeita, pois, a comunicação poderia passar a ser o evento de maior consumo de energia do sistema

6. CONCLUSÃO

Para implementar este trabalho na prática, primeiramente, é necessário que já haja no local um experimento de monitoramento de colmeia que utilizam etiquetas eletrônicas para que através de seus dados de detecção das abelhas se possa fazer a correlação com os dados de clima e hora semelhante à Seção 4.1. Portanto, mesmo que este trabalho tenha conseguido alcançar uma economia de 16,3% de energia, ela reflete apenas ao experimento de Santa Bárbara do Pará, para outras aplicações a Seção 4.1 teria que ser refeita com dados do local do experimento e consequentemente poderão impactar em mudanças nas regras de inferência *fuzzy*.

Inicialmente a dissertação encontrou dificuldades por ter de abordar e integrar temas muito distintos como entendimento sobre comportamento das abelhas *Apis mellifera* e eficiência energética em sistemas eletrônicos, entretanto, este aspecto multidisciplinar foi o que permitiu e enriqueceu o trabalho.

O método de IA aplicado neste trabalho (lógica *fuzzy*) correspondeu bem às expectativas, pois como as variáveis de clima e hora apresentaram uma forte correlação com o número de detecção das abelhas a implementação da lógica *fuzzy* se tornou rápida e ágil.

A integração dos dados de diferentes sistemas eletrônicos, como a Miniestação Climática e o sistema de monitoramento de colmeias composto por Mini-PC, Leitor e Etiquetas Eletrônicas pode se tornar um problema complexo de ser resolvido.

REFERÊNCIAS

ABROL, D. P. Decline in pollinators. In: **Pollination Biology**. Springer Netherlands, 2012. p. 545-601. DOI: 10.1007/978-94-007-1942-2_17

BARIN, A.; CANHA, L. N.; MAGNANO, K. F.; ABAIDE, A. R. Seleção de fontes alternativas de geração distribuída utilizando uma análise multicriterial baseada no método AHP e na lógica fuzzy. **Revista Controle e Automação, Campinas**, v. 21, n. 5, p. 477-486, 2010.

BIESMEIJER, J. C.; ROBERTS, S. P. M.; REEMER, M.; OHLEMULLER, R.; EDWARDS, M.; PEETERS, T.; SCHAFFERS, A. P.; POTTS, S. G.; KLEUKERS, R.; THOMAS, C. D.; SETTELE, J.; KUNIN W. E. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. **Science**, v. 313, p. 351–354, 2006. DOI: 10.1126/science.1127863

BITTENCOURT, G. Inteligência computacional. **Universidade Federal de Santa Catarina**. Disponível em: <http://www.lcml.ufsc.br/gia/softcomp/node27.html>. [capturado em 21 jan. 2002], 2008. Acesso em: 21 jan. 2016

BROWN, M. J. F.; PAXTON, R. J. The conservation of bees: a global perspective. **Apidologie**, v. 40, p. 410–416, 2009. DOI: 10.1051/apido/2009019

BRYDEN, J.; GILL, R. J.; MITTON, R. A.; RAINE, N. E.; JANSEN, V. A. Chronic sublethal stress causes bee colony failure. **Ecology Letters**, v. 16, p. 1463–1469, 2013. DOI: 10.1111/ele.12188

CAMERON, S. A.; LOZIER, J. D.; STRANGE, J. P.; KOCH, J. B.; CORDES, N.; SOLTER, L. F.; GRISWOLD, T. L. Patterns of widespread decline in North American bumble bees. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA**, v. 108, p. 662–667, 2011. DOI: 10.1073/pnas.1014743108

COLLA, S. R.; OTTERSTATTER, M. C.; GEGEAR, R. J.; THOMSON, J. D. Plight of the bumble bee: pathogen spillover from commercial to wild populations. **Biological conservation**, v. 129, n. 4, p. 461-467, 2006. DOI: 10.1016/j.biocon.2005.11.013

CORBET, S. A.; FUSSELL, M.; AKE, R.; FRASER, A.; GUNSON, C.; SAVAGE, A.; SMITH, K. Temperature and the pollinating activity of social bees. **Ecological Entomology**, v. 18, n. 1, p. 17-30, 1993. DOI: 10.1111/j.1365-2311.1993.tb01075.x

CORKE, P.; WARK, T.; JURDAK, R.; HU, W.; VALENCIA, P.; MOORE, D. Environmental wireless sensor networks. **Proceedings of the IEEE**, v. 98, n. 11, p. 1903-1917, 2010. DOI: 10.1109/JPROC.2010.2068530

COX-FOSTER, D. L.; CONLAN, S.; HOLMES, E. C.; PALACIOS, G.; EVANS, J. D.; MORAN, N. A.; QUAN, P.-L.; BRIESE, T.; HORNIG, M.; GEISER, D. M.; MARTINSON, V. A.; VANENGELSDORP, D.; KALKSTEIN, A. L.; DRYSDALE, A.; HUI, J.; ZHAI, J.; CUI, L.; HUTCHISON, S. K.; SIMIONS, J. F.; EGHOLM, M.; PETTIS, J. S.; LIPKIN, W. I. A metagenomic survey of microbes in honey bee colony collapse disorder. **Science**, v. 318, n. 5848, p. 283-287, 2007. DOI: 10.1126/science.1146498

CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CATANEO, A. Metodologia de determinação de funções de controladores *fuzzy* para a avaliação energética de empresas de avicultura de postura. **Energia na agricultura**, v. 25, n. 1, p. 2139, 2010.

DECOURTYE, A.; DEVILLERS, J.; AUPINEL, P.; BRUN, F.; BAGNIS, C.; FOURRIER, J.; GAUTHIER, M. Honey bee tracking with microchips: a methodology to measure the effects of pesticides. **Ectotoxicology**, v. 20, n. 2, p. 429-437, 2011. DOI: 10.1007/s1064601105944. 2011.

DE LIMA CANEPPELE, F.; SERAPHIM, O. J. Análise da eficiência energética na indústria madeireira através da lógica *fuzzy*. **Energia na agricultura**, v. 28, n. 2, p. 95-102, 2013.

DE SOUZA, P.; WILLIAMS, R.; QUARRELL, S.; BUDI, S.; SUSANTO, F.; VINCENT, B.; ALLEN, G.; ALMEIDA, A.; WORLEDGE, D.; DESIUTA, L.; HIRSCH, P.; PESSIN, G.; ARRUDA, H.; MARENDY, P.; DOS SANTOS, L.; ONG, A. Agent-based Modelling of Honey Bee Forager Flight Behaviour for Swarm Sensing Applications. **Environmental Modelling and Software**. 2016. (Em submissão)

DOS SANTOS, L.; SILVA, G. T.; FERRAZ, A. S.; DE SOUZA, S. B.; TRINDADE, M. R. Modelagem *fuzzy* para cálculo de credit scoring. **Revista de Controle e Automação**, v. 1, n. 1, 2013.

EKEL, P. I.; CARNEVALLI, R. L. J.; NETA, B. M.; DE SOUZA, D. L.; PALHARES, R. M. Modelos e métodos de tomada de decisões em ambiente fuzzy e suas aplicações. **Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**. Natal, p. 980-990, 2003.

ESTRIN, D.; CULLER, D.; PISTER, K.; SUKHATME, G. Connecting the physical world with pervasive networks. **Pervasive Computing**. 2002. "Researching for Weiser's Vision". Inaugural issue of IEEE Pervasive Computing, Jan-Mar 2002.

FREITAS, P. C. F.; BISPO, D.; DELAIBA, A. C.; SILVA, S. F. P. Análise comparativa dos rendimentos dos motores da linha padrão e de alto rendimento sob o enfoque da eficiência energética. **Simpósio Brasileiro de Sistemas elétricos (SBSE)**, 2008.

GABRIEL FILHO, A.; ROBERTO, L.; PIRES CREMASCO, C., ROBERTO ALMEIDA GABRIEL, L.; DE AGUIR ROMANINI, P.; FERREIRA GABRIEL, J. E.; RIGO ALMEIDA GABRIEL, L. Determinação das funções de pertinência dos índices da qualidade da água e de substância tóxicas e organolépticas. In: **Colloquium exactarum**, v. 1, n. 1, . p. 46-55, jul./dez. 2009.

GILL, R. J.; RAMOS-RODRIGUEZ, O.; RAINE, N. E. Combined pesticide exposure severely affects individual-and colony-level traits in bees. **Nature**, v. 491, n. 7422, p. 105-108, 2012. DOI: 10.1038/nature11585

GOULSON, D.; LYE, G.C.; DARVILL, B. Decline and conservation of bumble bees. **Annual Review Entomology**, v. 53, p. 191–208, 2008. DOI: 10.1146/annurev.ento.53.103106.093454

HART, J. K.; MARTINEZ, K. Environmental Sensor Networks: A revolution in the earth system science?. **Earth-Science Reviews**, v. 78, n. 3, p. 177-191, 2006. DOI: 10.1016/j.earscirev.2006.05.001

HENRY, M.; BÉGUIN, M.; REQUIER, F.; ROLLIN, O.; ODOUX, J. F.; AUPINEL, P.; APTEL, J.; TCHAMITCHIAN, S.; DECOURTYE, A. A common pesticide decreases foraging success and survival of Honey bees. **Science**. v. 336, n. 6079, p. 348-350, 2012. DOI: 10.1126/science.1215039

HILÁRIO, S. D.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; KLEINERT, A. Flight activity and colony strength in the stingless bee *Melipona bicolor bicolor* (Apidae, Meliponinae). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 60, n. 2, p. 299-306, 2000.

JANZEN, D. H. Ecologia vegetal nos trópicos. In: **Temas de biologia**. São Paulo: EDUSP, 1980.

KERR, J. T.; PINDAR, A.; GALPERN, P.; PACKER, L.; POTTS, S. G.; ROBERTS, S. M.; RASMONT, P.; SCHWEIGER, O.; COLLA, S. R.; RICHARDSON, L. L.; WAGNER, D. L.; GALL, L. F.; SIKES, D. S.; PANTOJA, A. Climate change impacts on bumblebees converge across continents. **Science**, v. 349, n. 6244, p. 177-180, 2015. DOI: 10.1126/science.aaa7031

MALERBO-SOUZA, D. T.; SILVA, F. A. S. Comportamento forrageiro da abelha africanizada *Apis mellifera* L. no decorrer do ano. **Acta Scientiarum: Animal Sciences**, v. 33, p. 183-190, 2011.

MARTINEZ, K.; HART, J. K.; ONG, R.; BRENNAN, S.; MIELKE, A.; TORNEY, D.; SZTIPANOVITZ, J. Sensor network applications. **IEEE Computer**, v. 37, n. 8, p. 50-56, 2004.

MARTINS, D. C.; BARBI, I. **Eletrônica de potência: Conversores CC-CC básicos não isolados**. Edição dos Autores, 2006.

MATHWORKS, T. Fuzzy Logic Toolbox User's Guide. **The Mathworks, Inc**, 1999.

MONARD, M. C.; BARANAUSKAS, J. A. **Indução de Regras e Árvores de Decisão**. 2003.

NÚÑEZ, J. A. Honeybee foraging strategies at a food source in relation to its distance from the hive and the rate of sugar flow. **Journal Apicultural Research**, v. 21, p. 139–150, 1982.

PENG, Y. S.; FANG, Y.; XU, S.; GE, L. The resistance mechanism of the Asian honey bee, *Apis cerana* Fabr., to an ectoparasitic mite, *Varroa jacobsoni* Oudemans. **Journal of invertebrate pathology**, v. 49, n. 1, p. 54-60, 1987. DOI: 10.1016/0022-2011(87)90125-X

PERISSINOTTO, M.; DE MOURA, D. J. Determinação do conforto térmico de vacas leiteiras utilizando a mineração de dados/evaluation of thermal comfort in dairy cattle using data mining. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 1, n. 2, p. 117-126, 2007.

RATNIEKS, F. L.W.; CARRECK, N. L. Clarity on Honey bee collapse?. **Science**, v. 327, p. 152, 2010. DOI: 10.1126/science.1185563

RUNDEL, P. W.; GRAHAM, E. A.; ALLEN, M. F.; FISHER, J. C.; HAEMON, T. C. Environmental sensor networks in ecological research. **New Phytologist**, v. 182, n. 3, p. 589-607, 2009. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2009.02811.x

RUSSELL, S.; NORVIG, P. A modern approach. **Artificial Intelligence. Prentice-Hall, Englewood Cliffs**, v. 25, 1995.

SANTOS, T. MB; LUCAS JÚNIOR, J. Balanço energético em galpão de frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 25-36, 2004.

SCHNEIDER, C. W.; TAUTZ, J.; GRUNEWALD, B.; FUCHS, S. RFID tracking of sublethal effects of two neonicotinoid insecticides on foraging behaviour of *Apis mellifera*. **Science**. v. 7, n. 1, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0030023.g001

SHIBA, M. H.; SANTOS, R. L.; QUINTANILHA, J. A.; KIM, H. Classificação de imagens de sensoriamento remoto pela aprendizagem por árvore de decisão: uma avaliação de desempenho. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 12, p. 4.319-4.326, 2005.

SOUZA JÚNIOR, P. A. de; BRASIL, G. H.. Assessing uncertainties in a simple and cheap experiment. **European journal of physics**, v. 30, n. 3, p. 615, 2009. DOI: 10.1088/0143-0807/30/3/018

STREIT, S.; BOCK, F.; PIRK, C. W.; TAUTZ, J. Automatic lifelong monitoring of individual insect behaviour now possible. **Zoology**. v. 106, p. 169–171, 2003.

TEIXEIRA, L. V.; CAMPOS, F. D. N. M.. Início da atividade de vôo em abelhas sem ferrão (Hymenoptera, Apidae): influência do tamanho da abelha e da temperatura ambiente. **Revista Brasileira de Zootecias**, v. 7, n. 2, p. 195-202. 2005.

VANBERGEN, A. J. Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. **Frontiers Ecology and the Environment**, v. 11, p. 251–259, 2013. DOI: 10.1890/120126

WANG, F-Y; LIU, D. **Advances in computational intelligence**. World Scientific, 2006.

WHITEHORN, P. R.; O'CONNOR, S.; WACKERS, F. L.; GOULSON, D. Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. **Science**, v. 336, p. 351-352, 2012. DOI: 10.1126/science.1215025

ZHOU, Z. H; CHEN, Z-Q. Hybrid decision tree. **Knowledge-based systems**, v. 15, n. 8, p. 515-528, 2002. DOI: 10.1016/S0950-7051(02)00038-2

APÊNDICE A - Cálculo de dimensionamento dos componentes para geração fotovoltaica.

Consumo Diário

Para realizar o dimensionamento de uma geração fotovoltaica isolada da rede elétrica é necessário saber o perfil de consumo que a geração atenderá, isto é, quantos aparelhos estarão ligados e quanto tempo irá funcionar em média.

Através do conhecimento da energia consumida dos aparelhos é possível calcular quanto será o consumo diário de energia que a geração fotovoltaica atenderá.

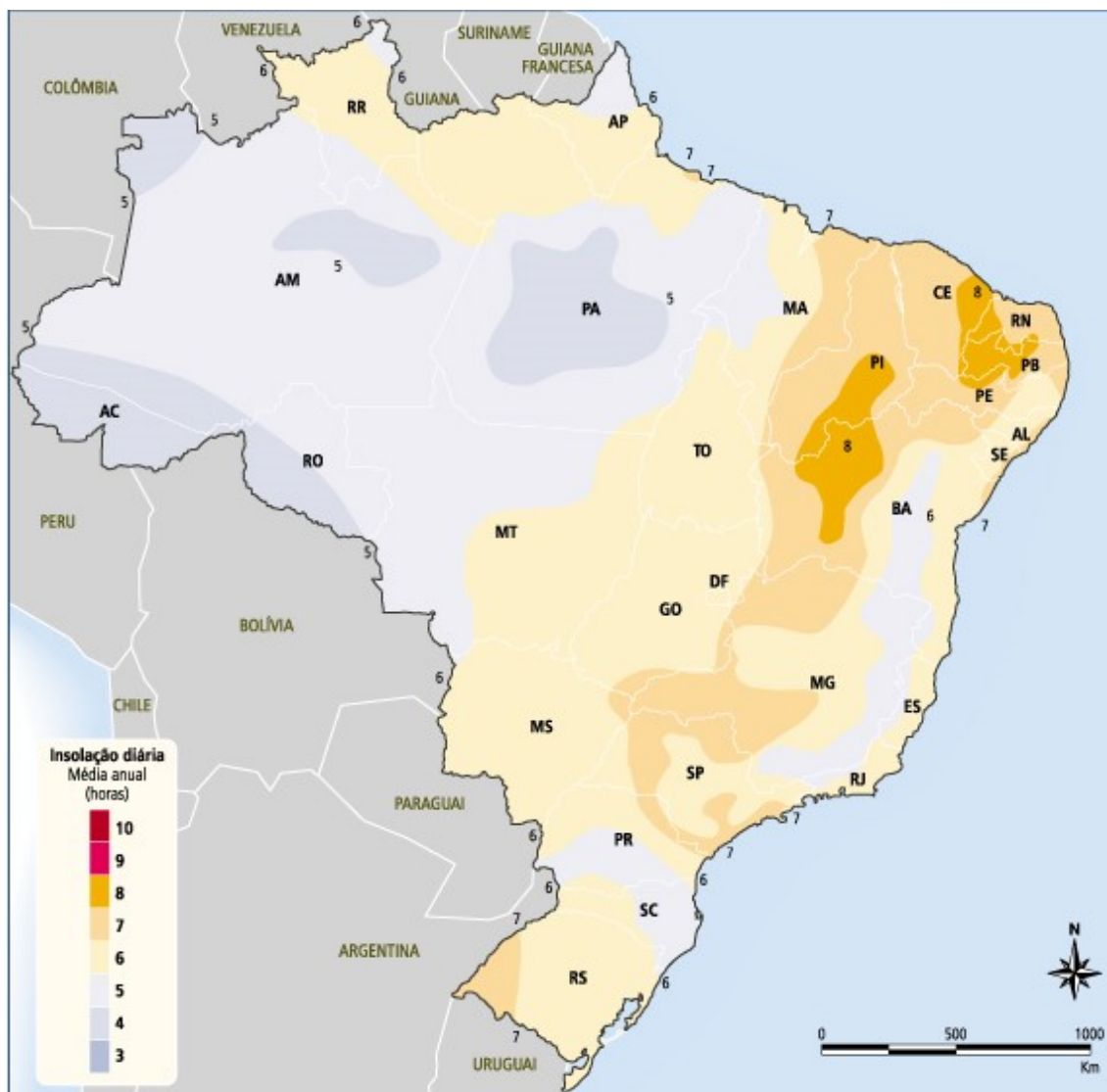
- **Cálculos para o sistema de leitura das etiquetas eletrônicas sem a otimização proposta pela dissertação**

Considerando o consumo máximo do sistema de leitura de etiquetas eletrônicas a 2,25 W.

Relação de Consumo em Watts					
Quantidade	Equipamentos	Consumo W		Horas de uso / dia	Consumo W por dia
		Unitário	Total		
10	Sistema de Leitura de Etiquetas Eletrônicas	2,25	22,5	24	540
Total do Consumo W/dia do Sistema					540
Consumo diário corrigido do Sistema					$540 / 0,8 = 675$

Devido às perdas que ocorrem nas baterias e controlador, recomenda-se utilizar um gerador solar fotovoltaico (painel solar), cuja capacidade de produção de energia diária seja pelo menos 20% superior ao consumo diário total (por isso a divisão de correção por 0,8).

Painéis Solares



Fonte: ATLAS Solarimétrico do Brasil. Recife : Editora Universitária da UFPE, 2000. (adaptado)
 Retirado do relatório da Aneel sobre Energia Solar, página 32
http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar%283%29.pdf
 Acesso em 29 de abril de 2014, às 15h.

Obtém-se assim, o valor aproximado por hora a ser gerado pelo painel solar para sua necessidade:

$$675 \text{ Watts} / 5 \text{ horas} = 135 \text{ Watts} / \text{Hora}$$

Será necessário um conjunto de painéis que gere 135 Wh. O sistema deverá ter no mínimo tal capacidade. Na escolha do painel a opção pela tecnologia do painel, área ocupada, durabilidade, etc. São opções relativas a cada aplicação. O gerador fotovoltaico deverá ter em um valor igual ou maior que a necessidade. A potência acima da necessária será sua reserva de potência.

$$150 \text{ Wp} = 150 \text{ Watts / Hora}$$

Controlador de Carga

O controlador de carga é definido pela tensão de trabalho do sistema e pela maior corrente exigida. A capacidade do controlador deve superar a corrente dos painéis ou as de consumo, naquele em que for maior o valor. O consumo diário representa 135 Watt/hora, e a geração é de 150 Wh; divide-se este valor pela tensão do sistema, obtendo-se a corrente que será necessária para escolher o controlador.

Se o sistema funcionar em 12 Vcc:

$$150 \text{ W} \div 12 \text{ V} = 12.5 \text{ Ampères}$$

Neste caso, com a instalação em 12V não será necessário a divisão da carga, e só será utilizado um controlador com capacidade maior que 12.5 A, ou seja, o de 15 A.

Se o sistema funcionar em 24 Vcc:

$$150 \text{ W} \div 24 \text{ V} = 6.25 \text{ Ampères}$$

Neste caso, com a instalação em 24V não será necessária a divisão da carga, e só será utilizado um controlador com capacidade maior que 6.25 A, ou seja, o de 7 A.

Baterias

Com o total da corrente produzida pelo painel, multiplique pelas horas diárias de insolação. Os painéis produzem 12.5 Ah em 12 Volts ou 6.25 Ah em 24V. Operando por 5 horas de insolação temos:

12.5 Ah x 5 horas = 62.5 Ampères / dia

6.25 Ah x 5 horas = 31.25 Ampères / dia

Obs.: O “melhor” resultado é obtido em 24V.

A escolha por uma bateria deve ter sua capacidade de Ampères hora maior que a necessidade de Amperes por dia calculada. Logo, para 62.5 Ampères por dia é recomendado 70 Ah ou para 31.25 Ampères por dia é recomendado 40 Ah.

- **Cálculos para o sistema de leitura das etiquetas eletrônicas com a otimização proposta pela dissertação**

Considerando o consumo máximo do sistema de leitura de etiquetas eletrônicas a 1,80 W.

Relação de Consumo em Watts					
Quantidade	Equipamentos	Consumo W		Horas de uso / dia	Consumo W por dia
		Unitário	Total		
10	Sistema de Leitura de Etiquetas Eletrônicas	1,80	18,0	24	432
Total do Consumo W/dia do Sistema					456
Consumo diário corrigido do Sistema					456 / 0,8 = 540

Devido as perdas que ocorrem nas baterias e controlador, recomenda-se utilizar um gerador solar fotovoltaico (painel solar), cuja capacidade de produção de energia diária seja pelo menos 20% superior ao consumo diário total (por isso a divisão de correção por 0,8).

Painéis Solares

Obtém-se assim, o valor aproximado por hora a ser gerado pelo painel solar para sua necessidade:

$$540 \text{ Watts} / 5 \text{ horas} = 108 \text{ Watts} / \text{Hora}$$

Será necessário um conjunto de painéis que gere 108 Wh. O sistema deverá ter no mínimo tal capacidade. Na escolha do painel a opção pela tecnologia do painel, área ocupada, durabilidade, etc. São opções relativas a cada aplicação. O gerador fotovoltaico deverá ter em um valor igual ou maior que a necessidade. A potência acima da necessária será sua reserva de potência.

$$120 \text{ Wp} = 120 \text{ Watts} / \text{Hora}$$

Controlador de Carga

O controlador de carga é definido pela tensão de trabalho do sistema e pela maior corrente exigida. A capacidade do controlador deve superar a corrente dos painéis ou as de consumo, naquele em que for maior o valor.

Para o exemplo desta Seção, o consumo diário representa 108 Watt/hora, e a geração é de 120 Wh; divide-se este valor pela tensão do sistema, obtendo-se a corrente que será necessária para escolher o controlador.

Se o sistema funcionar em 12 Vcc:

$$120 \text{ W} \div 12 \text{ V} = 10 \text{ Ampères}$$

Se o sistema funcionar em 24 Vcc:

$$120 \text{ W} \div 24 \text{ V} = 5 \text{ Ampères}$$

Baterias

Com o total da corrente produzida pelo painel, multiplique pelas horas diárias de insolação e utilize um fator de segurança. Os painéis, produzem 10 Ah em 12 Volts ou 5 Ah em 24V. Operando por 5 horas de insolação temos:

$$10 \text{ Ah} \times 5 \text{ horas} = 50 \text{ Ampères} / \text{dia}$$

$$5 \text{ Ah} \times 5 \text{ horas} = 25 \text{ Ampères / dia}$$

Obs.: O “melhor” resultado é obtido em 24V.

A escolha por uma bateria deve ter sua capacidade de Amperes hora maior que a necessidade de Amperes por dia calculada. Logo, para 50 Ampères por dia é recomendado 60 Ah ou para 25 Ampères por dia é recomendado 30 Ah. Como esse acumulador "ideal" não existe até o momento, tem-se que optar por uma das melhores tecnologias existentes. Se a escolha for por uma bateria "estacionaria" multiplique a necessidade por 2 e arredonde. Se a escolha for por uma bateria SpiralCell, multiplique por 1,5 e arredonde. Quanto maior a quantidade de baterias, maior será a autonomia de seu sistema e isso é muito conveniente, para dias chuvosos e nublados.