



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA

DOUGLAS SANTIAGO KRIDI

Monitoramento de Padrões Térmicos em Colmeias de Abelhas via Redes de Sensores Sem Fio

FORTALEZA-CE
2014

DOUGLAS SANTIAGO KRIDI

Monitoramento de Padrões Térmicos em Colmeias de Abelhas via Redes de Sensores Sem Fio

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Teleinformática.

Área de concentração: Sinais e Sistemas

Orientador: Prof. Dr. Danielo Gonçalves Gomes
Coorientador: Prof. Dr. Carlos Giovanni Nunes
de Carvalho

FORTALEZA-CE
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

-
- K93m Kridi, Douglas Santiago.
Monitoramento de padrões térmicos em colmeias de abelhas via redes de sensores sem fio /
Douglas Santiago Kridi. – 2014.
62 f. : il. color. , enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática, Fortaleza, 2014.
Área de concentração: Sinais e Sistemas.
- Orientação: Prof. Dr. Danielo Gonçalves Gomes.
Coorientação: Prof. Dr. Carlos Giovanni Nunes de Carvalho.
1. Teleinformática. 2. Monitoramento ambiental. I. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA
CAMPUS DO PICI, CAIXA POSTAL 6007 CEP 60.738-640
FORTALEZA-CEARÁ- BRASIL
FONE (+55) 85 3366-9467 – FAX (+55) 85 3366-9468

DOUGLAS SANTIAGO KRIDI

**MONITORAMENTO DE PADRÕES TÉRMICOS EM COLMEIAS DE ABELHAS
VIA REDES DE SENSORES SEM FIO**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Teleinformática.

Área de concentração: Sinais e Sistemas.

Aprovada em: 28/08/2014.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Danielo Gonçalves Gomes (Orientador)
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Carlos Giovanni Nunes de Carvalho
Universidade Estadual do Piauí

Profa. Dra. Rossana Maria de Castro Andrade
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Ornar Carvalho Branquinho
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Dedicatória

À Deus.

À minha família, principalmente, meus pais
Emad e Maria e minha noiva Priscila.

AGRADECIMENTOS

Aos professores Danielo Gonçalves Gomes e Carlos Giovanni Nunes de Carvalho, pela valiosa orientação e coorientação, respectivamente, pela oportunidade e por terem acreditado em mim e no meu trabalho.

À professora Rossana Maria, por ter aberto as portas do GREat/UFC durante toda a realização deste trabalho.

Aos amigos do GREat, especialmente ao Rodrigo Teles, pela troca de experiências e companheirismo durante o curso.

Aos professores e alunos do OPALA/UESPI, especialmente ao Marvin Lemos, Douglas Bráz, Anderson e Gabriel, pela grande força e colaboração.

Às profissionais da NUPA - EMBRAPA Meio-Norte, Fábria e Maria Teresa, pela total disponibilidade e contribuição com este trabalho.

Aos meus familiares, principalmente, meu pai (Emad Kridi) e minha mãe (Maria Santiago), sem os quais nada disso seria possível, e a quem eu devo tudo.

E a minha noiva (Priscila Melrylim) por estar sempre ao meu lado incentivando com as melhores palavras e por sua dedicação e amor incondicionais.

RESUMO

Enxameação é a saída em massa das abelhas de uma colmeia, cujas causas mais comuns são a falta de alimentos, estresse, variações da umidade do ar e principalmente as altas temperaturas. Dentre os tipos de enxameação, aquela em que ocorre o abandono completo da colmeia tem trazido grandes prejuízos aos apicultores brasileiros, particularmente aos nordestinos. Na região Nordeste, de grande importância para a produção apícola brasileira e onde altas temperaturas são comuns na maior parte do ano, um grande número de colmeias é perdido em função da enxameação por abandono. Na tentativa de mitigar este problema, propomos aqui um monitoramento proativo de colmeias via uma rede de sensores sem fio capaz de identificar o aquecimento atípico indicativo de uma condição pré-enxameatória. Por meio de um padrão de coletas obtido a partir do comportamento cíclico de temperaturas diárias, elaboramos um algoritmo preditivo, baseado em técnicas de reconhecimento de padrões, capaz de detectar o aumento da temperatura no interior da colmeia (microclima) responsável pelo estresse típico das abelhas que culmina na enxameação. Tal mecanismo também é capaz de reconhecer e evitar o envio de informações redundantes pela rede de modo a diminuir a comunicação via rádio, consequentemente reduzindo custos de transmissão de dados e energia.

Palavras-chave: Enxameação, Redes de Sensores sem Fio, Monitoramento ambiental, Redução de dados.

ABSTRACT

Swarming is the mass exodus of bees in a hive, whose most common causes are lack of food, stress, variations of humidity and especially high temperatures. Among the types of swarming, one in which the complete abandonment of the hive occurs has brought great harm to Brazilian beekeepers, particularly the Northeast. In the Northeast region, of great importance for the Brazilian beekeeping, and where high temperatures are common in most of the year, a large number of hives is lost due to the swarming through abandonment. In an attempt to mitigate this problem, we propose a proactive monitoring hives via a network of wireless sensors capable of identifying atypical heating indicative of a preswarming condition. By means of a sampling pattern obtained from the cyclical daily temperatures, we developed a predictive algorithm based on pattern recognition techniques capable of detecting the increase of temperature inside the beehive (microclimate) responsible for the typical stress bees culminating in swarming. Such a mechanism is also able to recognize and avoid sending redundant information over the network in order to reduce radio communication, thereby reducing costs of data transmission and energy.

Keywords: Swarming, Wireless Sensor Network, Environmental monitoring, Data Reduction.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Problemática – Qualificação e Justificativa	13
1.2 Objetivos e Metas	15
1.3 Estrutura do Documento	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Monitoramento Ambiental	16
2.1.1 Termorregulação	19
2.2 Redução de Dados.....	22
2.3 Agrupamento por Similaridade	24
2.4 Trabalhos Relacionados.....	26
2.5 Resumo do Capítulo	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 Delineamento – estratégia do estudo.....	29
3.2 Técnica para Detecção de Aquecimento.....	30
3.2.1 Tratamento dos dados	31
3.2.2 Clusterização dos dados	32
3.2.3 Procedimento de Comparação.....	33
3.3 Composição da informação recebida.....	36
3.4 Implementação.....	39
3.5 Cenário de Experimentação	39
3.6 Modelo de Energia.....	43
3.7 Resumo do Capítulo	43
4 RESULTADOS	45
4.1 Dados Monitorados	45
4.2 Detecção de Aquecimento	47
4.3 Consumo de Energia e Redução de Dados	49
4.4 Resumo do Capítulo	55
5 CONCLUSÕES	57
5.1 Contribuições	57

5.2 Produção Científica	58
5.3 Trabalhos Futuros	58
REFERÊNCIAS.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exportação e produção de mel em milhares de toneladas (fora de escala), (a) no Brasil/Mundo, (b) no Nordeste/Brasil e (c) no Piauí/Nordeste.	14
Figura 2. Monitoramento ambiental e suas aplicações.....	17
Figura 3. A termorregulação da colmeia para (a) aquecimento e (b) resfriamento.....	19
Figura 4. k-médias em etapas.	25
Figura 5. Etapas para obtenção de padrões no WEKA.....	30
Figura 6. Esquema simplificado da técnica preditiva.....	31
Figura 7. Pré-processamento dos dados.	32
Figura 8. Exemplo de obtenção dos padrões de temperatura para um mês.....	33
Figura 9. Comparação entre os dados coletados e os padrões.....	34
Figura 10. Tamanho do <i>buffer</i>	36
Figura 11. Informação obtida com único padrão.....	37
Figura 12. Informação obtida com uma troca de padrões.	37
Figura 13. Informação obtida com uma troca de padrões e dados enviados.	38
Figura 14. Informação obtida com mais de uma troca de padrões e dados enviados.....	38
Figura 15. Apiário experimental da Embrapa Meio-Norte em Teresina – PI.	40
Figura 16. Protótipo sensor com proteções em (a) plástico e (b) madeira.	41
Figura 17. Implantação do protótipo com (a) apoio próprio e (b) sobre a colmeia.....	41
Figura 18. Esquema da implantação do protótipo e de seu sensor na colmeia.....	42
Figura 19. Temperaturas coletadas interna e externamente nas colmeias em (a) novembro de 2013, (b) abril de 2014 e (c) junho de 2014.	46
Figura 20. (a) Microclima saudável, (b) Estresse e aquecimento e (c) Colmeia vazia - (Limite superior e inferior de 1°C para as comparações).	47
Figura 21. Coletas internas com seis padrões como referência – (Limite superior e inferior de 1° C para as comparações).....	49
Figura 22. Consumo energético (J) dos meses ímpares de 2013.....	50
Figura 23. Média de pacotes reduzidos por dia, com <i>buffers</i> de tamanho 3, 4 e 5.....	51
Figura 24. Pacotes enviados por mês com <i>buffers</i> de tamanho 3, 4 e 5.	52
Figura 25. Erro cumulativo para três valores de k.....	53
Figura 26. Correspondência entre leituras e padrões – (Limite superior e inferior correspondente ao desvio padrão).....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Ranking mundial com os 10 maiores exportadores de mel.	20
Tabela 2. Produção de mel no Brasil por regiões.	21
Tabela 3. Produção de mel no Nordeste por estados.	21
Tabela 4. Ranking nacional com os 10 maiores produtores de mel	22
Tabela 5. Tabela-resumo das principais técnicas em monitoramento de colmeias.	27
Tabela 6. Trocas de padrões por mês em relação ao tamanho do <i>buffer</i>	52
Tabela 7. Desempenho do algoritmo em todos os meses de 2013.	54

LISTA DE ABREVIATURAS

RSSF: Redes de Sensores Sem Fio

WEKA: Waikato Environment for Knowledge Analysis

NUPA: Núcleo de Pesquisa em Abelhas

Embrapa: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SIDRA: Sistema IBGE de Recuperação Automática

ABEMEL: Associação Brasileira dos Exportadores de Mel

Capítulo 1

Introdução

Nesta dissertação propomos um monitoramento proativo capaz de detectar, via rede de sensores sem fio, o aquecimento interno em colmeias de abelhas na perspectiva de evitar problemas decorrentes de enxameação por abandono. Para tanto, são utilizados padrões térmicos de temperatura que auxiliam na detecção de aquecimento atípico.

Na Seção 1.1 é feita uma contextualização do problema tratado, qualificando sua importância e justificando nossa proposta. Os objetivos e as metas estão brevemente descritos na Seção 1.2 e a Seção 1.3 contém a estrutura deste manuscrito.

1.1 Problemática – Qualificação e Justificativa

A apicultura vem sendo apontada como uma alternativa sustentável de geração de renda para as comunidades que atuam na agricultura familiar (VENTURIERI, 2006), além de incrementar o fluxo de polinizadores em áreas agroflorestais, como o cerrado, e contribuir para a produção de frutos (KERR et al., 2001). No entanto, grande parte dos criadores e produtores vem sofrendo severas perdas nos períodos de entressafra (quando as temperaturas mais altas são registradas) devido à enxameação por abandono, a qual gera prejuízos consideráveis na produção (ALMEIDA, 2008). Neste tipo de enxameação, a totalidade das abelhas abandona as colmeias em função, principalmente, do aumento da temperatura externa (ZACEPINS; KARASHA, 2013).

Segundo dados da ABEMEL e do IBGE, entre 2009 e 2013 o Brasil caiu de 4º para o 11º lugar no *ranking* dos maiores exportadores de mel do mundo (Figura 1.a). Essa queda abrupta deu-se a partir de 2012, quando a longa estiagem prejudicou a produção da região Nordeste brasileira, responsável por grande parte do mel produzido pelo país (Figura 1.b). Dentre os estados do Nordeste com maior destaque na produção de mel e insumos apícolas, está o Piauí, que em 2010 e em 2011, ocupou a primeira posição entre os produtores nordestinos, mas foi duramente afetado em 2012 pelo calor excessivo (Figura 1.c).

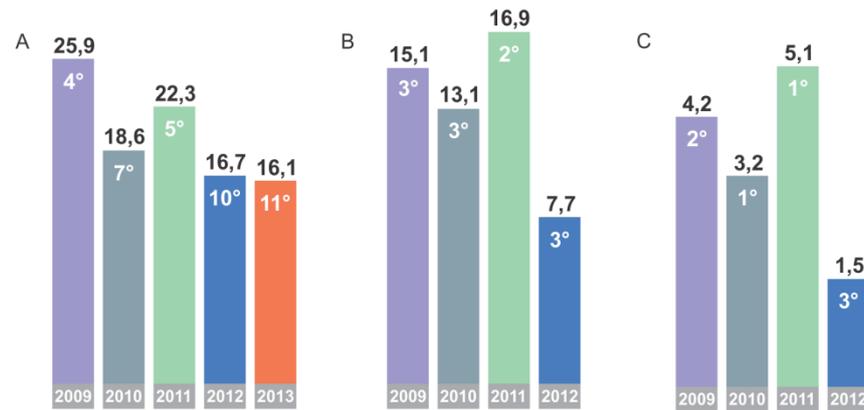


Figura 1. Explotação e produção de mel em milhares de toneladas (fora de escala), (a) no Brasil/Mundo, (b) no Nordeste/Brasil e (c) no Piauí/Nordeste.

Quanto mais elevada for a temperatura do microclima (ambiente interno das colmeias), mais abelhas operárias deixarão de forragear e produzir para se dedicar à termorregulação. Tal situação pode gerar impactos na produção de mel e outros produtos pela colônia. À medida que as altas temperaturas continuam presentes ao longo dos dias e as abelhas não obtêm sucesso no resfriamento, o enxame abandona a colmeia (ALMEIDA, 2008).

Na região Nordeste, onde altas temperaturas são comuns na maior parte do ano, um grande número de colmeias é perdido em função da enxameação por abandono. Segundo Vidal (2013), a estiagem prolongada no ano de 2012 provocou uma perda de enxames por abandono no Piauí (terceiro maior produtor de mel do país) da ordem de 70%, o que levou a uma queda de 66% na produção de mel em relação a 2011. Além das implicações envolvendo a enxameação, o controle da temperatura no ninho é de fundamental importância para a sobrevivência da colônia, pois variações na temperatura podem provocar, por exemplo, a morte ou má formação de crias (ALMEIDA, 2008). Este fenômeno natural permanece um problema em aberto, pois existem poucos dados de monitoramento ambiental que relacionam as temperaturas externas às colmeias com suas temperaturas internas (microclima).

Por outro lado, as Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) constituem atualmente uma alternativa madura para sensoriamento distribuído e monitoramento ambiental, com um vasto campo de aplicações (ALIPPI et al., 2011; NAUMOWICZ et al., 2010; OLIVEIRA; RODRIGUES, 2011). Este tipo de rede atende a dois requisitos importantes para o monitoramento ambiental: a autonomia, pois os nós sensores podem permanecer ativos em áreas afastadas sem necessitar de manutenções recorrentes; e a pouca intrusão nos biomas, devido ao tamanho pequeno dos nós sensores e o emprego da comunicação sem fio

(NAUMOWICZ et al., 2010). Ademais, como o abandono em massa das colmeias acontece paulatinamente, ações de monitoramento proativo podem indicar, por meio de dados sensoriados, os alertas entre as situações de instabilidade no microclima, o estresse e a consequente fuga da colônia.

1.2 Objetivos e Metas

O objetivo principal deste trabalho é elaborar um mecanismo capaz de monitorar o microclima em colmeias de abelhas do gênero *Apis* identificando um aumento atípico de temperatura, o qual em poucos dias pode levar à enxameação. Para alcançá-lo, destacamos três metas: (i) obtenção de conjuntos de dados de temperatura externa e interna à colmeia; (ii) utilização de técnicas de *clustering* por similaridade para a descoberta de padrões nos conjuntos citados; e (iii) desenvolvimento de um algoritmo capaz de comparar as leituras dos sensores com os padrões obtidos, na busca de um cenário de aquecimento demasiado.

De forma complementar, utilizamos a estratégia de predição implementada pelo nosso algoritmo para identificar quando as leituras de temperatura externas à colmeia (ambiente) pertencerem aos padrões pré-analisados e, desse modo, evitarmos a transmissão de dados redundantes na sua origem, o que deve gerar economia energética nos dispositivos limitados de recursos computacionais, principalmente na fonte de energia (normalmente baterias e pilhas).

1.3 Estrutura do Documento

No Capítulo 2 são apresentados alguns temas e conceitos importantes para compreensão deste trabalho, assim como, pesquisas relacionadas ao tema proposto. No Capítulo 3 descrevemos as etapas aplicadas para a nossa proposta, incluindo a obtenção dos padrões térmicos externos e internos as colmeias, as funções do algoritmo preditivo e informações sobre o cenário de monitoramento. No Capítulo 4 apresentamos os resultados e suas respectivas discussões. Por fim, no Capítulo 5, destacamos as principais conclusões, contribuições e perspectivas para futuros trabalhos.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

Na Seção 2.1 são abordados trabalhos sobre monitoramento ambiental, com destaque para a termorregulação e dois dos principais desafios ao tratar-se especificamente sobre monitoramento de *habitats*: autonomia e baixa intrusão. A Seção 2.3 apresenta alguns trabalhos sobre redução de dados, onde o principal objetivo é economizar energia para aumentar o tempo de vida dos dispositivos. Na Seção 2.3 discutimos alguns conceitos e artigos sobre técnicas de agrupamento (*clustering*) e a Seção 2.4 apresenta algumas soluções da literatura para monitoramento de colmeias.

2.1 Monitoramento Ambiental

Segundo OLIVEIRA e RODRIGUES (2011), as aplicações em monitoramento ambiental podem ser categorizadas de acordo com aspectos físicos do ambiente monitorado, como *indoor* (edifícios, casas e locais fechados) e *outdoor* (*habitats* naturais, ruas e locais abertos) (vide Figura 2). Neste tipo de monitoramento, principalmente em áreas naturais, dois dos principais desafios observados são a autonomia e a baixa intrusão.

Neste contexto, as Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) constituem uma alternativa eficiente para sensoriamento distribuído e monitoramento ambiental, com um vasto campo de aplicações (ALIPPI et al., 2011; NAUMOWICZ et al., 2010; OLIVEIRA; RODRIGUES, 2011). Este tipo de rede atende a dois requisitos fundamentais para o monitoramento ambiental: a autonomia e a pouca intrusão nos biomas monitorados.

A autonomia dos dispositivos sensores é indispensável no monitoramento ambiental, pois grande parte das aplicações ocorre em regiões remotas, de difícil acesso e hostis (BARRENETXEA et al., 2008; GOENSE; THELEN; LANGENDOEN, 2005; WERNER-ALLEN et al., 2006). Nessas condições, manutenções recorrentes (como trocas de baterias) são, na maioria das vezes, inviáveis, seja por dificuldades de acesso ou por riscos iminentes. Em função disso, a longevidade da rede se coloca como fator primordial no monitoramento.

Em WERNER-ALLEN et al., (2006) uma RSSF foi implantada para monitorar as erupções do vulcão Tungurahua, localizado no Equador. Os dispositivos da rede foram

equipados com microfones específicos que captavam os sinais infrassônicos (frequências abaixo dos 20 Hz, portanto abaixo da faixa audível) originados por erupções vulcânicas. O trabalho obteve sucesso em realizar o monitoramento em uma área de difícil acesso, isolada e igualmente perigosa.

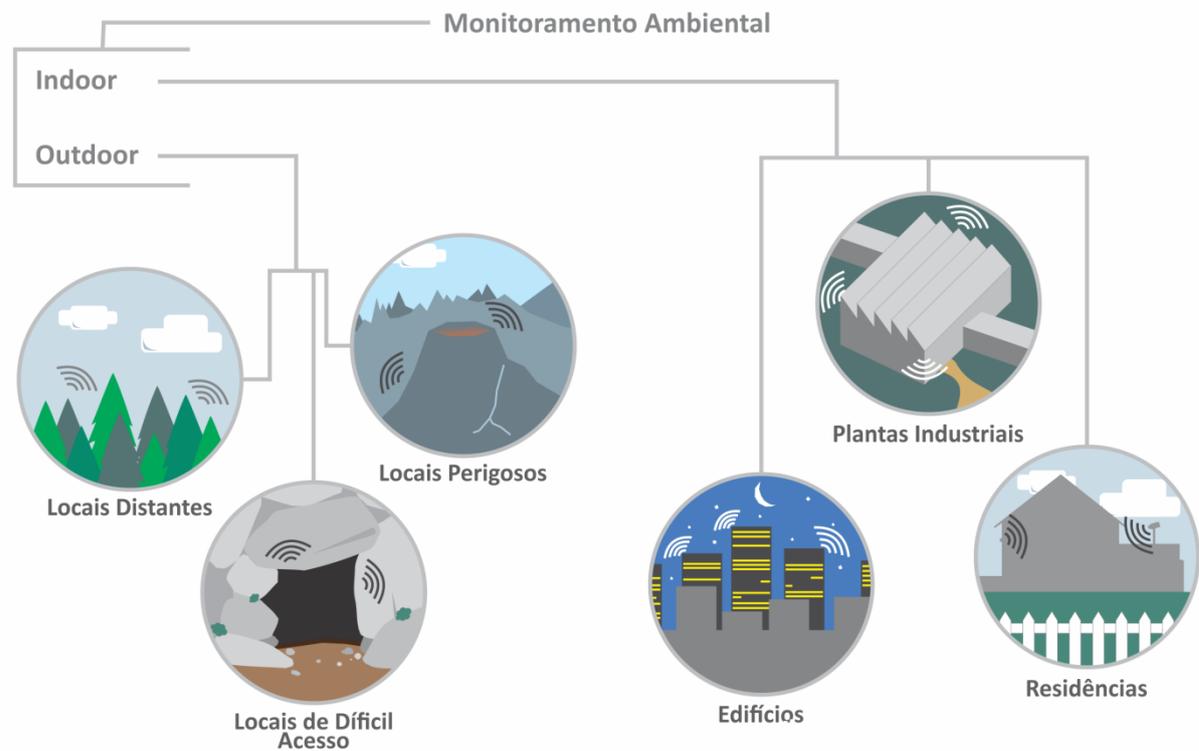


Figura 2. Monitoramento ambiental e suas aplicações.

O projeto Lofar (GOENSE; THELEN; LANGENDOEN, 2005) teve como principal objetivo monitorar o microclima em uma plantação de batatas, e a partir das informações coletadas, incrementar a tomada de decisões sobre como combater a *phytophthora*, uma doença fúngica em tubérculos, cujo desenvolvimento depende fortemente das condições climatológicas na plantação. Vários nós sensores foram implantados em uma parcela da colheita, cada um equipado com sensores para registrar a temperatura e a umidade relativa. Os dados coletados pelos nós são enviados a um sorvedouro local que por sua vez, se encarrega de retransmitir os dados via Wi-Fi para um computador conectado a internet, alimentando servidores web do Lofar com as informações coletadas.

Duas redes foram implantadas em locais inóspitos da Suíça no projeto Sensorscope (BARRENETXEA et al., 2008). A primeira rede foi implantada em Wannengrat para estudar os processos ambientais envolvendo nevascas. A segunda rede foi implantada em uma geleira na região de Valais para medir a temperatura, umidade, direção do vento, radiação solar, e

outras variáveis. Sete nós foram usados na primeira rede e 16 na segunda. Os nós sensores regularmente transmitem os dados coletados para o sorvedouro, que por sua vez, os retransmitem a uma base de dados (servidor) remotamente localizada. Para o link entre o sorvedouro e o servidor, podem ser usados tanto GPRS quanto Wi-Fi. Por fim, os dados são publicados em uma interface web baseada no Google Maps¹.

Outro aspecto fundamental para o sucesso em monitoramento ambiental é a baixa intrusão no ambiente observado, principalmente quando o foco do estudo envolve habitats naturais. Seja para se mapear a biodiversidade ou estudar eventos comportamentais de uma determinada espécie, é preciso tomar cuidado com a introdução de elementos estranhos ao meio (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2011), por isso, dispositivos como os utilizados em RSSF, que possuem pequenas dimensões e comunicação sem fio, obtém vantagem sobre dispositivos maiores, cabeados ou mesmo observadores humanos que pela sua própria presença já interferem no comportamento das espécies, prejudicando a precisão da pesquisa e de seus resultados.

Seguindo estes preceitos, os autores de (SZEWCZYK et al., 2004) desenvolveram um dos trabalhos pioneiros em monitoramento ambiental utilizando RSSF, tendo como cenário várias ilhas remotas, principalmente a de Great Duck Island. Um dos principais objetivos deste monitoramento foi estudar o padrão de uso de ninhos de aves quando os pais alternavam entre a incubação e a alimentação, para tanto, os ninhos eram monitorados por sensores dentro e fora deles. A princípio, a rede de topologia *single-hop* (com saltos únicos até o sorvedouro) era composta por 32 nós que se estenderam para 120 nós à medida que a área de observação foi aumentada. Os nós mensuram a temperatura, umidade, pressão atmosférica e detectam a presença de pássaros. Estas leituras foram periodicamente enviadas e retransmitidas a estação base localizada na ilha, e por fim, usando um link via satélite, alimentando um servidor conectado a internet. Um trabalho semelhante é detalhado em (NAUMOWICZ et al., 2010), onde uma RSSF foi implantada com 30 nós na ilha de Skomer (Reino Unido), para monitorar aves marítimas a partir de seus ninhos.

Assim, verifica-se que os trabalhos supracitados aproveitam aspectos inerentes a RSSF em aplicações de monitoramento ambiental de modo a atender os principais requisitos de baixa intrusão e autonomia.

¹ <http://www.climaps.com/>

2.1.1 Termorregulação

As abelhas buscam controlar rigorosamente o microclima da sua colmeia (principalmente no ninho), mantendo a temperatura próxima a uma faixa térmica entre 33 °C e 36 °C (ALMEIDA, 2008; SOMBRA, 2013). Esse controle é conhecido como termorregulação e pode ser observado na Figura 3.

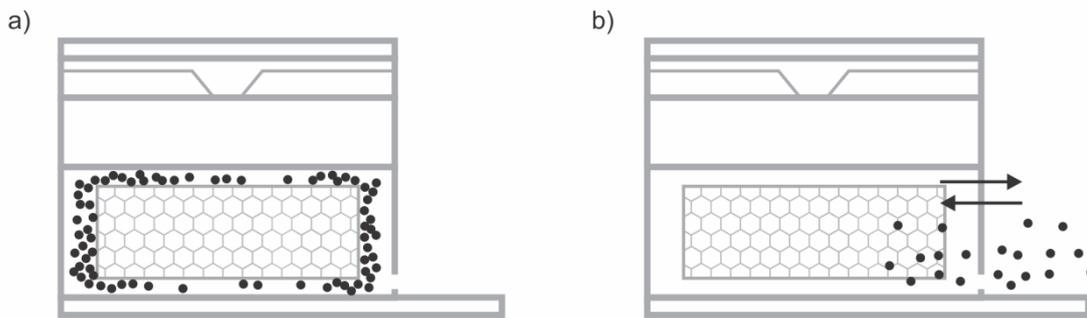


Figura 3. A termorregulação da colmeia para (a) aquecimento e (b) resfriamento.

No frio, as operárias aquecem o ninho por meio da aglomeração e pela contração muscular, o que aumenta o calor metabólico (Figura 3.a). Quando o clima é elevado, as abelhas vibram as asas junto à entrada da colmeia trazendo a corrente de ar externa e ventilando o ninho (Figura 3.b). Persistindo temperaturas elevadas, elas espalham gotículas de água, que devido à evaporação implica em diminuição da temperatura interna (SOMBRA, 2013; ZACEPINS; KARASHA, 2013). Em último caso, quando a termorregulação não possui efeito, evacuam a colmeia em processo de enxameação.

Como o abandono em massa não é algo que ocorre de uma hora para outra (ALMEIDA, 2008), o monitoramento constante de colmeias pode demonstrar a variação que ocorre entre um microclima saudável e o seu aquecimento. Dentro do leque de pesquisas existentes, são escassas soluções que se utilizem de RSSF para levar adiante o monitoramento dessas informações. Além disso, também são poucos os trabalhos que relacionam o clima interno e externo à colmeia para se determinar o nível de desconforto da colônia que pode levar a enxameação.

O monitoramento de colmeias possui requisitos aos quais as RSSF se adequam devido a sua arquitetura. Geralmente a localização das colmeias é afastada e de acesso dificultado para evitar acidentes ou ataques de abelhas. Dessa forma, a solução em monitoramento precisa ter autonomia o suficiente de modo a diminuir a necessidade de sua manutenção.

Além disso, a solução não pode ser muito intrusiva, pois poderia ser outro motivo de estresse para a colônia.

Além das implicações envolvendo a enxameação, o controle da temperatura, mais especificamente no ninho é de fundamental importância para a sobrevivência da colônia, já que elementos biológicos podem sofrer alterações devido a variações da temperatura, sendo a principal delas a morte ou má formação de crias (ALMEIDA, 2008).

Quando as colmeias são constantemente expostas a altas temperaturas (acima de 36°), podem ocorrer alterações morfológicas severas às larvas, que têm seu processo de metamorfose afetado (ALMEIDA et al., 2006; SOMBRA, 2013).

Outro problema ocasionado pela longa exposição ao calor excessivo, diz respeito a alterações físico-químicas do mel. As altas temperaturas alteram o aroma e sabor do mel, acelerando reações químicas de envelhecimento, o que resulta no aumento da acidez e na formação do HMF, principal indicativo de qualidade. O hidroximetilfurfural (HMF) surge da quebra de açúcares como glicose e frutose em função da presença elevada de ácidos. Quando o mel é recém-colhido o HMF se encontra em pequena quantidade e com a medida que o tempo passa vai crescendo, portanto, seu aparecimento se deve ao envelhecimento e a exposição a altas temperaturas (SOUSA, 2011).

Segundo dados da ABEMEL², vemos pela Tabela 1 que o Brasil chegou a ocupar em 2009 a 4ª posição no Ranking mundial de exportadores de mel, com mais de 25 mil toneladas do produto e movimentando a soma de US\$ 65,8 milhões.

Tabela 1. Ranking mundial com os 10 maiores exportadores de mel.

2009			2010			2011			2012		
#	Países	Ton.									
	Mundo	412.180		Mundo	473.830		Mundo	491.676		Mundo	524.275
1	China	71.831	1	China	101.138	1	China	99.988	1	China	110.158
2	Argentina	57.969	2	Argentina	57.317	2	Argentina	72.356	2	Argentina	75.135
3	México	26.984	3	México	26.512	3	Índia	28.940	3	México	32.040
4	Brasil	25.987	4	Espanha	21.555	4	México	26.888	4	Índia	24.515
5	Alemanha	22.033	5	Alemanha	20.529	5	Brasil	22.399	5	Alemanha	22.262
6	Espanha	16.024	6	Índia	18.706	6	Vietnã	20.393	6	Vietnã	21.538
7	Hungria	14.238	7	Brasil	18.629	7	Alemanha	20.093	7	Espanha	19.661
8	Bélgica	13.303	8	Bélgica	18.480	8	Espanha	18.449	8	Canadá	18.325
9	Canadá	12.162	9	Vietnã	16.947	9	Bélgica	16.860	9	Bélgica	16.726
10	Romênia	10.654	10	Canadá	15.145	10	Hungria	12.421	10	Brasil	16.707

² ABEMEL - http://www.brazilltsbee.com.br/inteligencia_comercial_abemel_junho_2014.pdf

No entanto, ao observar dados mais atuais, em 2012 o país caiu para a 10ª posição não passando de 16,7 mil toneladas de mel exportado, com uma queda de aproximadamente 36% em relação a 2009 e 25% em relação a 2011. E em 2013, pela primeira vez nos últimos cinco anos, o Brasil ficou abaixo dos 10 maiores exportadores de mel.

Ainda na Tabela 1, vemos que embora o Brasil tenha ocupado posição de destaque no ranking mundial por mais de uma vez, é a partir de 2012 que se verifica uma queda acentuada nas exportações, que reflete o impacto na produção interna de mel sofrido em função da estiagem do mesmo ano, onde o Nordeste foi duramente afetado e cerca de 75% das colmeias foram perdidas por abandono (VIDAL, 2013).

Tabela 2. Produção de mel no Brasil por regiões.

2009			2010			2011			2012		
	Regiões	Ton.									
#	Brasil	39.029	#	Brasil	38.072	#	Brasil	41.792	#	Brasil	33.931
1	Sul	16.501	1	Sul	16.532	1	Nordeste	16.911	1	Sul	16.659
2	Nordeste	15.143	2	Nordeste	13.116	2	Sul	16.180	2	Nordeste	7.700
3	Sudeste	5.478	3	Sudeste	6.211	3	Sudeste	6.338	3	Sudeste	7.084
4	C. Oeste	1.084	4	C. Oeste	1.290	4	C. Oeste	1.416	4	C. Oeste	1.561
5	Norte	821	5	Norte	921	5	Norte	946	5	Norte	926

A repercussão negativa nas exportações brasileiras em função da queda da produção nordestina pode ser vista quando observamos a Tabela 2, com dados do SIDRA IBGE³, onde a produção do Nordeste é responsável por 38,7%, 34,4% e 40,6% da produção interna brasileira, nos anos de 2009 a 2011, respectivamente. No entanto, em 2012 a parcela nordestina do mel brasileiro caiu para apenas 22,6%, afetando o Brasil no cenário mundial.

Tabela 3. Produção de mel no Nordeste por estados.

2009			2010			2011			2012		
	Estados	Ton.		Estados	Ton.		Estados	Ton.		Estados	Ton.
#	Nordeste	15.143	#	Nordeste	13.116	#	Nordeste	16.911	#	Nordeste	7.700
1	Ceará	4.734	1	Piauí	3.262	1	Piauí	5.107	1	Ceará	2.016
2	Piauí	4.278	2	Ceará	2.760	2	Ceará	4.165	2	Bahia	1.595
3	Bahia	1.922	3	Bahia	2.396	3	Bahia	2.646	3	Piauí	1.563
4	Pernambuco	1.774	4	Pernambuco	2.094	4	Pernambuco	2.349	4	Maranhão	1.107
5	R G Norte	1.107	5	Maranhão	1.118	5	Maranhão	1.107	5	Pernambuco	635
6	Maranhão	747	6	R G Norte	885	6	R G Norte	904	6	R G Norte	406
7	Paraíba	272	7	Paraíba	269	7	Paraíba	303	7	Paraíba	188
8	Alagoas	169	8	Alagoas	203	8	Alagoas	213	8	Alagoas	133
9	Sergipe	136	9	Sergipe	124	9	Sergipe	114	9	Sergipe	53

³ SIDRA - <http://www.sidra.ibge.gov.br/>

Ainda de acordo com os dados do IBGE, dentro da região Nordeste, o Piauí é um dos estados com mais destaque na produção de mel, alcançando o primeiro lugar nos anos de 2010 e 2011 (Tabela 3). E no cenário nacional chegou a ocupar a 3ª posição atrás de Rio Grande do Sul e Paraná (Tabela 4).

Tabela 4. Ranking nacional com os 10 maiores produtores de mel

2009			2010			2011			2012		
#	Estados	Ton.									
	Brasil	39.029		Brasil	38.072		Brasil	41.792		Brasil	33.931
1	R G Sul	7.155	1	R G Sul	7.098	1	R G Sul	6.985	1	R G Sul	6.774
2	Paraná	4.831	2	Paraná	5.467	2	Paraná	5.204	2	Paraná	5.496
3	Ceará	4.734	3	S Catarina	3.965	3	Piauí	5.107	3	S Catarina	4.388
4	S Catarina	4.514	4	Piauí	3.262	4	Ceará	4.165	4	M Gerais	3.398
5	Piauí	4.278	5	M Gerais	3.076	5	S Catarina	3.990	5	São Paulo	2.821
6	M Gerais	2.605	6	Ceará	2.760	6	M Gerais	3.075	6	Ceará	2.016
7	São Paulo	2.188	7	Bahia	2.396	7	Bahia	2.646	7	Bahia	1.595
8	Bahia	1.922	8	São Paulo	2.316	8	São Paulo	2.417	8	Piauí	1.563
9	Pernambuc	1.774	9	Pernambuc	2.094	9	Pernambuc	2.349	9	Maranhão	1.107
10	R G Norte	1.107	10	Maranhão	1.118	10	Maranhão	1.107	10	M G Sul	820

Em 2011, quando figurou entre os três maiores produtores do Brasil, o Piauí chegou a produzir 5,1 mil toneladas de mel. Porém, o calor excessivo comum em regiões como o cerrado Piauiense e a estiagem prolongada de 2012, acabou prejudicando muito a produção.

Ao ter que se dedicar muitas horas na termorregulação interna da colmeia, a colônia diminui a produção de mel (ALMEIDA, 2008). E em longo prazo, acaba abandonando a colmeia em busca de um novo local, onde o estresse causado pelas altas temperaturas seja menor ou mais tolerável.

Segundo dados de VIDAL (2013), devido à estiagem prolongada em 2012, a perda de enxames no Piauí por abandono foi de 70%, o que levou a uma queda de 66% na produção de mel em relação a 2011.

2.2 Redução de Dados

Para prover autonomia às RSSF, devemos considerar o gerenciamento eficiente da energia consumida por cada dispositivo da rede, já que na maioria das vezes, os mesmos são alimentados por baterias de capacidade limitada, e estratégias de captação de energia do meio (como painéis solares) não eximem a necessidade do gerenciamento energético (HORMANN et al., 2011). Neste intuito, e levando em consideração a natureza dos dados sensorizados

(séries temporais), as técnicas de redução de dados se mostram como soluções adequadas na busca de economia energética.

Dentre os componentes de um nó sensor, o transceptor é, na maioria das vezes, o elemento de maior consumo energético (ANASTASI et al., 2009). Em função disso, ao diminuirmos ao máximo o envio e recepção de dados, conseqüentemente diminuimos o gasto energético proporcionado pelo uso do rádio, o que caracteriza a redução de dados. No entanto, não se pode perder a precisão das informações sensoriadas em detrimento do baixo consumo, o que norteia diversas abordagens em redução de dados na literatura (CARVALHO et al., 2011; JIANG; JIN, 2011; NAKAMURA; LOUREIRO; FRERY, 2007; RIBAS et al., 2012).

Desse modo, podemos dizer que redução de dados é uma forma de minimizar o consumo de energia em um dispositivo com sensor, buscando evitar ao máximo o envio de dados sem comprometer a qualidade do monitoramento. Em (ANASTASI et al., 2009), a redução de dados é um conjunto de técnicas baseadas nos dados coletados, sendo que todas estas soluções têm como objetivo primário, reduzir a quantidade de informações enviadas à rede.

O trabalho de (CARVALHO et al., 2011) utiliza uma técnica baseada em regressão linear simples para captar a correlação temporal das informações coletadas pela rede, e modelar em funções por meio de seus parâmetros (coeficientes), evitando assim a transmissão dos dados originais. A ideia central consiste em fazer predição de dados ao longo da coleta para reduzir o tráfego do nó sensor ao sorvedouro.

O algoritmo é embutido no dispositivo, o qual calcula os coeficientes da função de regressão linear, que representa aquela janela de leituras. Tais coeficientes, chamados de α e β , modelam a sequência de amostras das variáveis coletadas pelo sensor, tal como a temperatura. Assim, o nó sensor envia os coeficientes ao sorvedouro, ao invés de enviar a sequência de amostras. Quando α e β chegam ao sorvedouro, eles são usados pela função de regressão linear, a qual realiza a recuperação do sinal comprimido na origem (nó sensor).

A desvantagem da redução de dados é que os mecanismos mais precisos, em termos de erro, como filtro de Kalman ou PCA, por exemplo, normalmente demandam muito poder computacional de dispositivos limitados, como os nós sensores.

Para reduzir o envio de dados sem perder qualidade, (JIANG e JIN, 2011), implementam em seu trabalho um limiar que identifica o desempenho da redução de forma dinâmica, assim, de acordo com este limiar, o mecanismo de redução é habilitado ou desabilitado, evitando que dados importantes sejam eliminados no processo. Em cenários onde existem mudanças na correlação das variáveis, a estratégia de (JIANG e JIN, 2011) é

muito útil para manter a qualidade dos dados. Neste trabalho, propomos um monitoramento proativo que tem como função verificar regularmente (a cada hora) se o padrão que representa os dados reduzidos na fonte (nó sensor) está defasado ou não, o que poderia ativar uma nova escolha ou mesmo o envio direto das informações, para que não se perca nenhum dado importante.

GARCIA et al. (2014) também se preocuparam com a economia de energia em RSSF. O trabalho norteia o monitoramento das atividades de uma rede de sensores de forma ativa ou passiva. Quando são inseridas instruções para obtenção de informações na própria rede, tal monitoramento é chamado de ativo, e acaba consumindo recursos da rede para essa tarefa. No entanto, no monitoramento passivo há a existência de uma rede adicional para monitorar a rede alvo, o que tem como benefício imediato, o fato de que os recursos da rede alvo não serão utilizados no monitoramento.

Porém, neste caso, é imprescindível que a rede de monitoramento possua um tempo de vida prolongado para acompanhar a rede alvo. GARCIA et al. (2014) usaram a RSSI (Received Signal Strength Indicator), que indica a intensidade de sinal, para eleger os *sniffers* (nó monitores) e os nós da rede alvo que eles irão monitorar. Assim apenas um sniffer monitora um determinado nó alvo. Com tal medida, o consumo de energia da rede de monitoramento foi reduzido consideravelmente, além disso, também foi utilizado um método de agregação de dados para diminuir o número de pacotes transmitidos pela rede de monitoramento.

2.3 Agrupamento por Similaridade

Séries temporais extraídas de dados climáticos geralmente apresentam padrões que se repetem em um ciclo sazonal, que pode ser anual, mensal ou mesmo diário (KAWALE et al., 2012; STEINBACH et al., 2003). A identificação destes padrões por meio de técnicas de mineração de dados como o *clustering* (XU; II, 2005), pode ser útil tanto para prever fenômenos climáticos, como para identificar novos comportamentos em curso (MAYILVAHANAN; SABITHA, 2013). Por exemplo, o aumento de temperatura interno a uma colmeia que leva a enxameação.

De um modo geral, a solução empregada por técnicas de *clustering* por similaridade é agrupar elementos de uma base de dados de tal forma que os grupos (ou *clusters*) formados, possuam elementos com um maior grau de similaridade entre si do que com qualquer

elemento dos demais *clusters*. Formalmente, dado um conjunto com n elementos, $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, o *clustering* consiste na obtenção de um conjunto de k *clusters*, $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$, tal que os elementos contidos em um cluster C_i possuam uma maior similaridade entre si do que com os elementos de qualquer um dos demais *clusters* do conjunto C .

Quando o problema possui atributos com valores escalares, a similaridade será descoberta por meio da distância entre eles, dessa forma, quanto menor for a distância entre um par de elementos, maior é a similaridade entre eles. Neste contexto, para determinar os padrões térmicos internos e externos às colmeias, nós usamos uma técnica de clustering particional baseada no erro quadrático, chamada *k-médias*.

O *k-médias* particiona o conjunto de dados em k clusters, em que o valor de k é fornecido pelo usuário. Esses clusters são formados de acordo com alguma medida de similaridade. Cada grupo é inicializado a partir de um conjunto de k centroides (elementos do grupo que servem de referencial para o cálculo da similaridade), essa inicialização pode ser feita de diferentes maneiras, sendo que a mais comum é a escolha aleatória de k objetos do conjunto de dados, para representar os centroides iniciais. Em seguida, cada ponto do conjunto de dados é associado ao cluster com centroide mais próximo. Depois disso, a cada iteração, os centroides são recalculados e este processo é repetido até que não haja mais alterações (Figura 4).

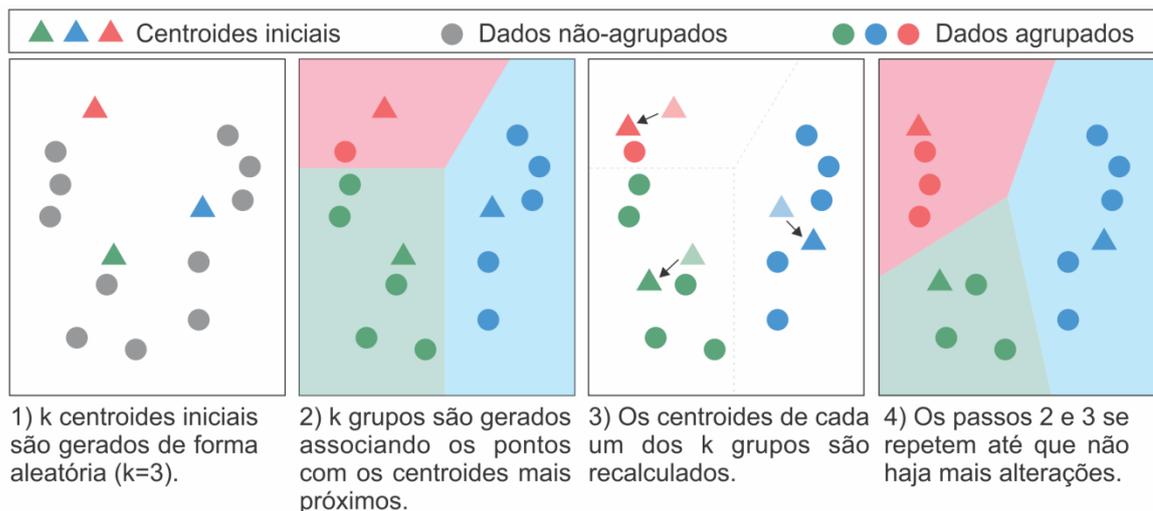


Figura 4. *k-médias* em etapas.

Como afirmado, o critério de agrupamento do *k-médias* é o erro quadrático definido pela equação 1:

$$E = \sum_{j=1}^k \sum_{x_i \in C_j} d(x_i, \bar{x}^{(j)})^2, \quad (1)$$

onde $\bar{x}^{(j)}$ é o centroide do cluster C_j , e $d(x_i, \bar{x}^{(j)})^2$ é a distância euclidiana entre um objeto x_i e o centroide $\bar{x}^{(j)}$. Dito de outra maneira, o *k-médias* minimiza a distância entre cada objeto e o centroide do cluster ao qual ele pertence.

2.4 Trabalhos Relacionados

Alguns trabalhos sobre monitoramento de colmeias para detecção de enxameação têm proposto o uso de técnicas e abordagens diversificadas, como por exemplo, sensores de áudio (BENCSEK et al., 2011; RITTSCHOF; SEELEY, 2008). Tais técnicas buscam identificar um padrão no zumbido do enxame que indique um iminente abandono em massa da colônia. Zacepins e Karasha (2013) coletaram informações externas e internas a colmeias durante o período de inverno no hemisfério norte utilizando redes de sensores cabeadas, além de estufas climatizadas para abrigar as colmeias.

Almeida (2008) apresentou pesquisas em ambiente controlado onde o aumento induzido da temperatura em câmaras especializadas leva à enxameação de colônias de abelhas do gênero *Apis*. Os autores observaram que ao se atingir externamente 50 °C, a temperatura interna da colmeia chega a 41 °C e as abelhas desistem de termorregular, iniciando a enxameação. Em média, as colmeias submetidas ao aumento de temperatura enxamearam entre 3 e 4 dias, mostrando que apesar de suportarem picos de temperatura, o que as leva a desistirem da termorregulação e em seguida ao abandono, é a longa exposição ao calor elevado.

RANGEL e SEELEY (2008) utilizaram câmeras e microfones para detectar a movimentação e o áudio das abelhas dentro da colmeia. Em 3 colônias distintas onde havia enxameação, foram observados padrões semelhantes tanto no zumbido quanto na movimentação das abelhas. Também neste caminho, FERRARI et al. (2008) usaram sensores de áudio, temperatura e umidade para correlacionar estas medidas durante a enxameação. Eles observam que o áudio se intensifica conforme a colônia despende esforço para reduzir a temperatura interna, e que durante a enxameação a intensificação do sinal de áudio é maior ainda devido ao aumento do zumbido.

Bencsik et al. (2011) identificaram padrões em sinais de vibração em colônias durante a enxameação. Com sensores específicos para detectar a frequência das vibrações, são filtrados ruídos externos que podem interferir no experimento. Freitas et al. (2007), relacionam a partida e a chegada de abelhas do gênero *Apis*, à região de semiárido de Canindé e na cidade litorânea de Fortaleza. Eles verificam que no período de estiagem as abelhas migram para o litoral e fazem o caminho inverso no período chuvoso, indicando o efeito decisivo das variações de temperatura sobre a enxameação das abelhas. Não são utilizadas quaisquer técnicas de monitoramento direto das colmeias, como sensores, apenas a análise comparativa dos dados de acompanhamento das colmeias feitos entre 1999 e 2001 com dados pluviométricos no mesmo período.

A Tabela 5 mostra um comparativo entre os trabalhos descritos nesta seção, dentre os quais somente um não utiliza uma interface de comunicação cabeada. Além disso, câmeras e microfones, presentes em algumas soluções, aumentam o consumo energético.

O comportamento das abelhas e o microclima nas colmeias precisam ser mais detalhados e acompanhados de forma mais intensa, com coletas de dados frequentes, para que seja possível revelar informações mais preciosas sobre o aquecimento de colmeias. Isso demanda muita comunicação de dados, e afeta o consumo de energia dos dispositivos. Portanto, nossa proposta é detectar o período pré-enxameatório (aquecimento interno que pode levar a enxameação) por meio de RSSF.

Tabela 5. Tabela-resumo das principais técnicas em monitoramento de colmeias.

Trabalho	Métricas monitoradas	Rede de Sensores	Meio
Zacepins e Karasha (2013)	Temperatura	Sim	Cabeado
Almeida (2008)	Temperatura, Umidade	Não	Cabeado
Rangel e Seeley (2008)	Áudio, Vídeo	Não	Cabeado
Ferrari et al (2008)	Áudio, Temperatura, Umidade	Não	Cabeado
Bencsik et al (2011)	Vibração	Não	Cabeado
Freitas et al (2007)	Observações	---	---

Na literatura atual são escassas as soluções que utilizam RSSF no monitoramento de colmeias. Neste artigo, partimos da hipótese de que as RSSF representam uma alternativa viável para monitoramento pré-enxameatório de colmeia de abelhas, pois suportam os dois requisitos básicos de uma instrumentação para monitoramento ambiental, que são: autonomia e baixa intrusão (vide Seção 2.1).

2.5 Resumo do Capítulo

Este capítulo apresentou temas e conceitos que contextualizam nossa proposta. Primeiramente, foi visto que no monitoramento ambiental existem alguns requisitos que precisam ser atendidos, tais como a autonomia e baixa intrusão. Também foram mostrados alguns dados que evidenciam a importância da apicultura em regiões do Nordeste e como a enxameação afeta estas mesmas regiões. Mostramos como a redução de dados pode influenciar no consumo de dispositivos sensores. Uma técnica clássica de reconhecimento de padrões, o K-médias, teve seu funcionamento explicado e, por fim, elencamos os principais trabalhos que visam o monitoramento de colmeias de abelhas.

Capítulo 3

Material e Métodos

Nosso objeto de estudo foi o microclima de colmeias de abelhas da espécie *Apis mellifera*, a mais utilizada na apicultura racional brasileira (ALMEIDA, 2008). Além de incrementar o fluxo de polinizadores da flora local, a criação deste tipo de abelhas tem como objetivo a extração de produtos tais como própolis, geleia real, cera e, principalmente, o mel.

Neste capítulo descrevemos nossa estratégia de solução na Seção 3.2 e detalhamos a sua implementação por meio de três etapas sequenciais. Primeiramente, na Seção 3.2.1, descrevemos o tratamento do conjunto de dados de temperaturas reais fornecido pelo INMET⁴, por meio do qual foram extraídos os padrões de referência para a etapa seguinte. Na Seção 3.2.2, discutimos como foram gerados tais padrões a partir de técnicas de reconhecimento de padrões. Por fim, na Seção 3.2.3, podemos entender como o algoritmo implementado compara as medições dos sensores nas colmeias com os padrões.

3.1 Delineamento – estratégia do estudo

Visto que as temperaturas diárias apresentam um padrão que se repete de forma cíclica a cada dia, propomos um monitoramento proativo capaz de determinar qual padrão corresponde ao perfil de leituras feitas em campo pelos sensores implantados, interna e externamente, às colmeias. Desta forma, nossa solução é capaz de detectar o comportamento pré-enxameatório e, ao mesmo tempo, economizar energia ao reduzir o envio dos dados ao nó sorvedouro, o qual recebe todos os dados sensorizados nos nós e enviados pela rede.

O algoritmo foi codificado, embarcado e submetido a experimentos usando medições reais coletadas por um protótipo em campo. A obtenção dos padrões de temperatura de cada mês foi realizada utilizando o software WEKA (HALL et al., 2009), por meio do qual foram gerados cinco ou mais padrões para cada mês, sendo que esta quantidade de grupos foi escolhida por ser a mais representativa.

Na Figura 5, é possível ver as etapas de obtenção dos padrões usando o WEKA. A princípio temos os dados brutos de temperatura submetidos ao software (Figura 5.a), em

⁴ INMET - <http://www.inmet.gov.br/portal/>

seguida selecionamos o método de *clustering* (e.g. K-means) e configuramos os atributos para sua execução, tais como, métrica utilizada para o cálculo da similaridade (e.g. Distância euclidiana), número de grupos (clusters) desejados e a semente de aleatoriedade, responsável pela composição inicial dos grupos (Figura 5.b). Após agrupar os dados, podemos verificar as iterações ocorridas durante o processo (Figura 5.c) e o resultado final dos grupos gerados (Figura 5.d).

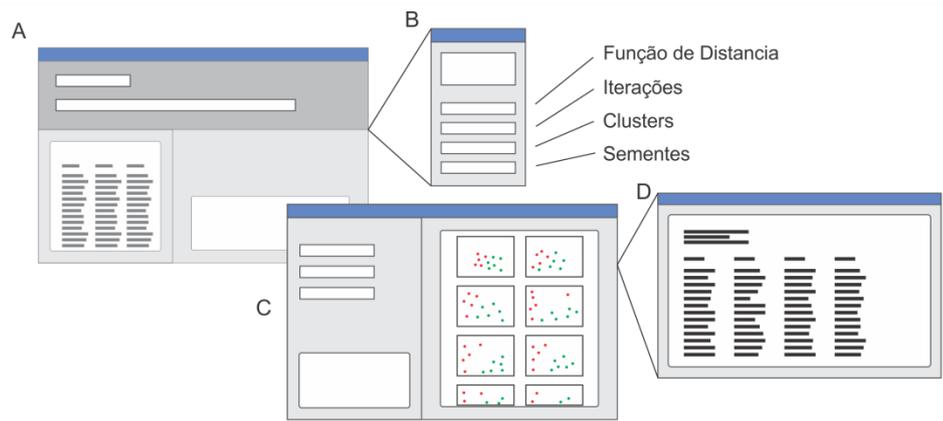


Figura 5. Etapas para obtenção de padrões no WEKA.

Para coletar dados em campo foi desenvolvido um protótipo de mote sem fio do tipo Arduino. Tal dispositivo foi adaptado e testado nas colmeias localizadas na Embrapa Meio-Norte, em Teresina, no segundo semestre de 2013, e primeiro semestre de 2014.

3.2 Técnica para Detecção de Aquecimento

Segundo Almeida (2008), ao se atingir a temperatura de 41 °C no interior de uma colmeia, e não havendo sucesso no controle do microclima, as abelhas a abandonam deixando todo o resto para trás, inclusive as crias. Neste trabalho consideramos que a principal causa da enxameação são as altas temperaturas. A técnica proposta se vale de um algoritmo preditivo capaz de determinar, baseado em padrões térmicos, quando o microclima de uma colmeia está aquecendo acima dos limites considerados saudáveis. A mesma estratégia também permite a detecção de leituras redundantes durante o monitoramento. A Figura 6 ilustra de forma simplificada o processamento envolvendo dados externos visando o descarte de informações redundantes, enquanto para os dados internos, o que importa é o envio de alertas para eventuais aquecimentos.

O dispositivo sensor faz regularmente (a cada hora) leituras de temperatura externas e internas à colmeia, enquanto o algoritmo preditivo embarcado as compara a padrões pré-determinados. São duas comparações, a primeira verifica se os dados lidos internamente estão dentro do esperado (de acordo com o padrão térmico interno). Caso estejam, nenhuma notificação é feita e o monitoramento prossegue normalmente, mas em caso negativo, e havendo uma persistência mínima do fenômeno, então uma mensagem de alerta de aquecimento é reportada à base de retransmissão.

A segunda comparação analisa se as leituras externas do sensor diferem dos perfis climáticos daquele mês (padrões térmicos externos) o que levaria ao envio das respectivas leituras. No entanto, havendo conformidade na comparação, aquela leitura é suprimida, pois se trata de uma informação que já conhecemos (redundante), uma vez que os padrões térmicos já são de nosso conhecimento. Assim evita-se o uso do rádio para sua transmissão.

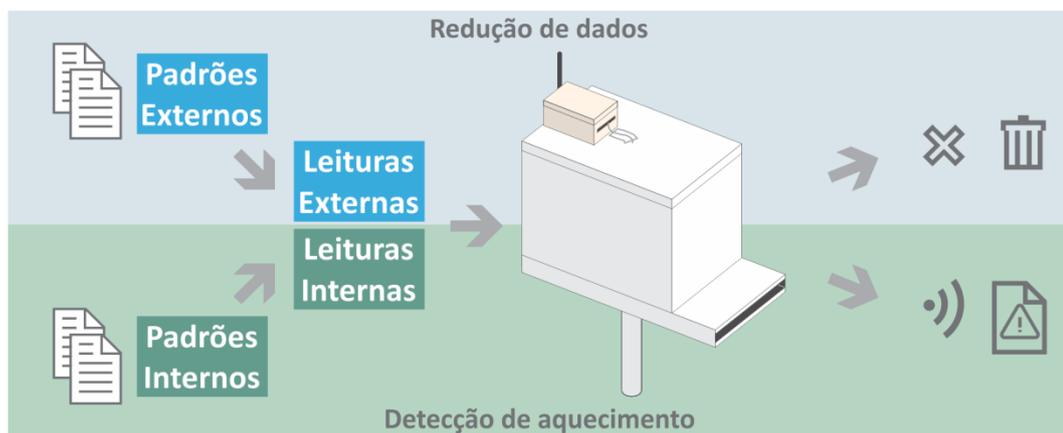


Figura 6. Esquema simplificado da técnica preditiva.

3.2.1 Tratamento dos dados

Utilizamos alguns conjuntos de dados de leituras (*datasets*) como base. Estes conjuntos são necessários para descobrir os padrões térmicos (supracitados) e fazer a comparação com os dados coletados pelos sensores em campo. Tais conjuntos contêm as temperaturas diárias de todo o ano de 2012 e 2013 da cidade de Teresina, onde ocorre nosso estudo de caso, e foram fornecidos pelo INMET.

Cada conjunto contendo as temperaturas externas foi dividido em outros 12 subdatasets, somente com as temperaturas de cada mês. A partir dessas informações, obtém-se a temperatura média em graus para cada hora (h_1, h_2, \dots, h_{24} na Figura 7) de todos os dias,

assim como seu desvio padrão. Tais métricas são úteis para a comparação entre as leituras feitas em campo, pelo sensor com os padrões obtidos por meio do *clustering*.

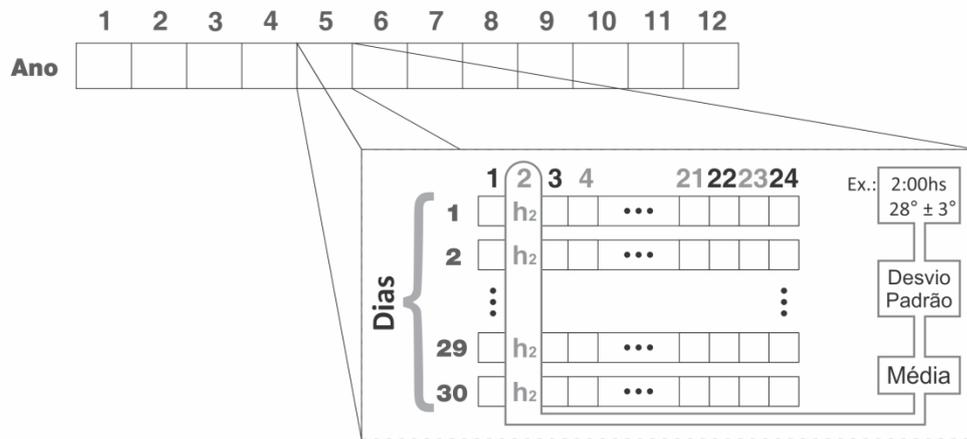


Figura 7. Pré-processamento dos dados.

Externamente, quando a medida de uma determinada hora for coletada e comparada com a medida correspondente em um padrão, esta comparação tem como tolerância o desvio padrão extraído para aquela hora. Internamente, essa tolerância já não será mais o desvio padrão, e sim um valor fixo correspondente a 1 °C para mais e para menos. Este valor foi alcançado de forma empírica, sendo o que melhor funcionou com os padrões internos, permitindo que toda a faixa de temperaturas considerada saudável para o microclima (33 °C a 36 °C) fosse compreendida.

A determinação dos padrões internos segue um caminho mais simples, pois como foi descrito no Capítulo 1, o microclima saudável das colmeias possui poucas variações, sempre próximas do intervalo de 33 °C a 36 °C. Portanto, as leituras feitas em campo com a utilização do protótipo foram suficientes para determinar um pequeno e único grupo de padrões internos de referência, que serve para detectar quando o microclima sofre de alguma anomalia térmica.

3.2.2 Clusterização dos dados

Com os agrupamentos por similaridade, obtemos conjuntos de modelos de temperaturas diárias (padrões), minerados a partir das leituras extraídas dos *datasets*, como visto na Figura 8, onde h_1, h_2, \dots, h_{24} representam às 24 horas de todos os dias do mês. Cada padrão representa perfis de dias em um determinado mês do ano ou do interior da colmeia. Ao

final, tem-se 12 conjuntos de modelos sazonais de temperatura externa e um conjunto de modelos de temperatura interna, que servem de base de comparação para a próxima etapa. Como dito na subseção anterior, é necessário apenas um grupo de padrões para temperaturas internas, pois o microclima da colmeia é termorregulado pelas abelhas de modo a sempre se manter próximo de um intervalo de 33 °C a 36 °C, tanto em dias quentes como em dias frios.

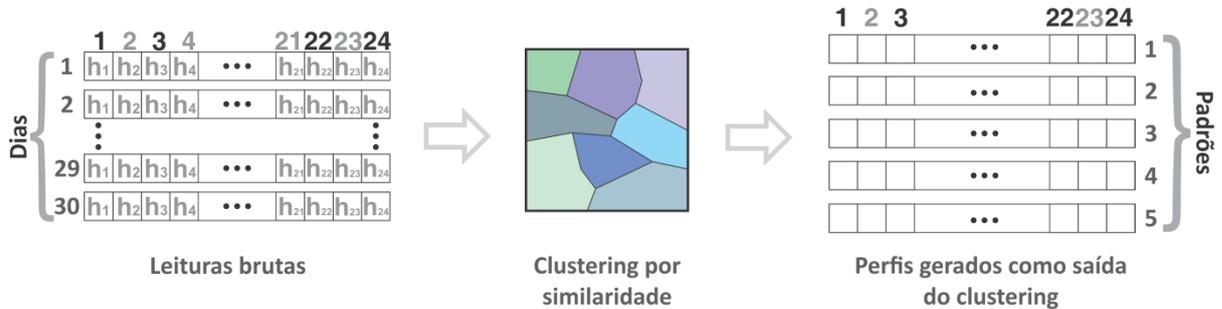


Figura 8. Exemplo de obtenção dos padrões de temperatura para um mês.

Segundo Meratnia e Havinga (2010), o cálculo das distâncias que definem a similaridade entre os elementos dos grupos, exige um grande esforço computacional para os nós limitados de uma RSSF, por isso esta etapa deve ocorrer fora da rede, e também pode ser compreendida como parte da preparação dos dados.

3.2.3 Procedimento de Comparação

As primeiras leituras do dia, coletadas pelo nó sensor, são armazenadas em uma variável chamada buffer e são comparadas ao banco de padrões sazonais, obtido na etapa anterior, como pode ser visto na Figura 9, onde as leituras do buffer são comparadas com os dados dos padrões térmicos. Aquele modelo que apresentar mais semelhanças com os dados coletados pelo sensor e armazenados no buffer, é admitido como o padrão adequado para aquele dia. A partir desse momento, as leituras posteriores não precisarão mais ser enviadas, pois poderemos considerar que as mesmas obedecem ao padrão do modelo sazonal que selecionamos.

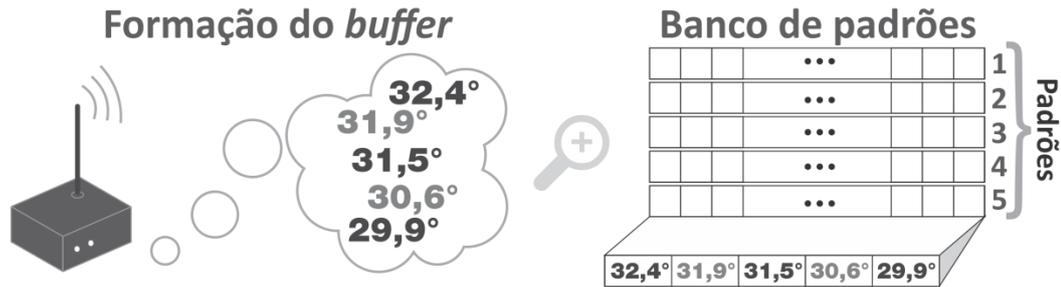


Figura 9. Comparação entre os dados coletados e os padrões.

O Algoritmo 1 apresenta a função *comparaPadroes*, responsável por captar o padrão em que se encaixe a janela de leituras armazenada na variável *buffer*. Uma rotina com cinco iterações (número de padrões) compara o *buffer* (neste exemplo, de tamanho 4), com cada um dos padrões armazenados retornando o identificador (*idPadrao*) do perfil selecionado (linha 8), assim como o valor booleano *S* para a variável de controle *encontrado* (linha 9), que servirá para determinar se a comparação foi positiva (linha 5). Porém, quando for negativa o valor de *encontrado* será *N* e *idPadrao* será nulo (linhas 12-13). A comparação entre *buffer* e *padrão* respeita uma tolerância chamada de *dp* (desvio padrão).

Algoritmo 1 Função para escolha de padrões

```

1  função comparaPadroes
2  Para lin=1 até 5 faça // 5 é o número de padrões
3  cont ← 0
4  Para col=1 até 4 faça // 4 é o tamanho do buffer
5  Se ( $abs(buffer[1,col] - padrão[lin,col]) \leq dp$ ) então
6  cont ← cont+1
7  Se (cont = 4) então
8  idPadrao ← lin
9  encontrado ← S
10 Sair // Interrompe os laços
11 Senão
12 idPadrao ← 0
13 encontrado ← N
14 fim Se
15 fim Se
16 fim Para
17 fim Para
18 retorna (idPadrao, encontrado)
19 fim função

```

Após duas tentativas iniciais, se as comparações não se encaixarem com nenhum modelo do banco de perfis, então as leituras posteriores serão enviadas normalmente. Isso

acontecerá quando houver a presença de um fenômeno atípico para aquele mês, como uma chuva isolada ou um período de estiagem incomum, o que provavelmente produzirá um perfil de temperaturas fora dos padrões.

No Algoritmo 2, mesmo após a escolha do modelo, cada dispositivo continuará fazendo leituras e as comparando com as suas respectivas representações, muito embora não as envie. O envio somente ocorre caso haja uma inconsistência, ou seja, quando o resultado da comparação for menor que dp (linha 2), retornando *mantido* igual a N , o que tornaria o perfil escolhido defasado, ativando uma nova comparação.

Algoritmo 2 *Função para checar o padrão*

```

1  função checaPadroes
2    Se  $(abs( leitura[h] - padrão[idPadrao,h] ) \leq dp)$  então
3      mantido  $\leftarrow S$ 
4    Senão
5      mantido  $\leftarrow N$ 
6    fim Se
7    retorna (mantido)
8  fim função
```

No Algoritmo 3, caso o padrão não tenha sido mantido, ainda é verificado se *idPadrao* pode receber um novo valor associado a outro perfil (linha5), ou se a leitura não se enquadra em nenhum dos padrões. Os Algoritmos 2 e 3 visam à verificação proativa da integridade do perfil escolhido, prevenindo a utilização de um padrão que possa se tornar inconsistente ao longo do dia, ou mesmo identificando leituras atípicas.

Algoritmo 3 *Função para mudar o padrão*

```

1  função mudaPadrao
2    Se  $(mantido = N)$  então
3      Para  $lin=1$  até 5 faça
4        Se  $(abs( leitura[h] - padrão[lin,h] ) \leq dp)$  então
5          idPadrao  $\leftarrow lin$ 
6        Sair
7      Senão
8        idPadrao  $\leftarrow 0$ 
9      fim Se
10     fim Para
11     fim Se
12     retorna (idPadrao)
13  fim função
```

Como a busca inicial por um padrão compatível pode resultar em negativa (linha 11 do Algoritmo 1), as leituras guardadas pelo *buffer* serão sempre enviadas, antes mesmo da comparação, por isso o tamanho do *buffer* influencia no consumo. Por exemplo, se um *buffer* possui tamanho quatro, então as leituras de 1 a 3 (três primeiras horas) serão enviadas diretamente para o sorvedouro, e na quarta leitura o *buffer* é confrontado com os padrões para sabermos se dali em diante continuamos enviando dados ou não (Figura 10). O tamanho do *buffer* também influencia na precisão inicial do Algoritmo 1, pois se for três, então basta existirem três leituras compatíveis com qualquer padrão para que ele seja selecionado (análogo ao que ocorre na linha 7 do Algoritmo 1, mas com quatro leituras), o que afeta a capacidade do algoritmo preditivo de escolher um padrão que represente todo o dia.

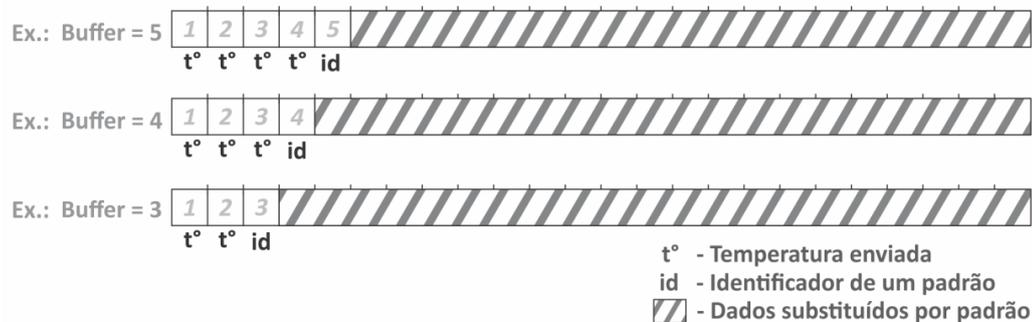


Figura 10. Tamanho do *buffer*.

3.3 Composição da informação recebida

Como visto na seção anterior, mesmo quando um determinado padrão é escolhido pelo algoritmo preditivo para representar as leituras do dia, variações térmicas atípicas, como uma chuva inesperada no meio da tarde, podem levar a leituras que não condizem mais com o perfil representado pelo padrão inicialmente escolhido. Isso torna o padrão atual defasado.

Neste caso, uma nova comparação busca outro padrão térmico que possa corresponder ao novo perfil climático detectado pelos sensores. As tentativas que ocorrem após uma primeira escolha podem encontrar um novo padrão de imediato, ou enviar diretamente as leituras feitas pelo sensor até uma nova escolha.

Esse misto entre dados enviados e dados já conhecidos (padrões) acaba por compor uma informação completa sobre o dia monitorado. A Figura 11 mostra esquematicamente, um exemplo de informação formada pelo envio compulsório de leituras do *buffer* (tamanho 5) com dados de um padrão escolhido.

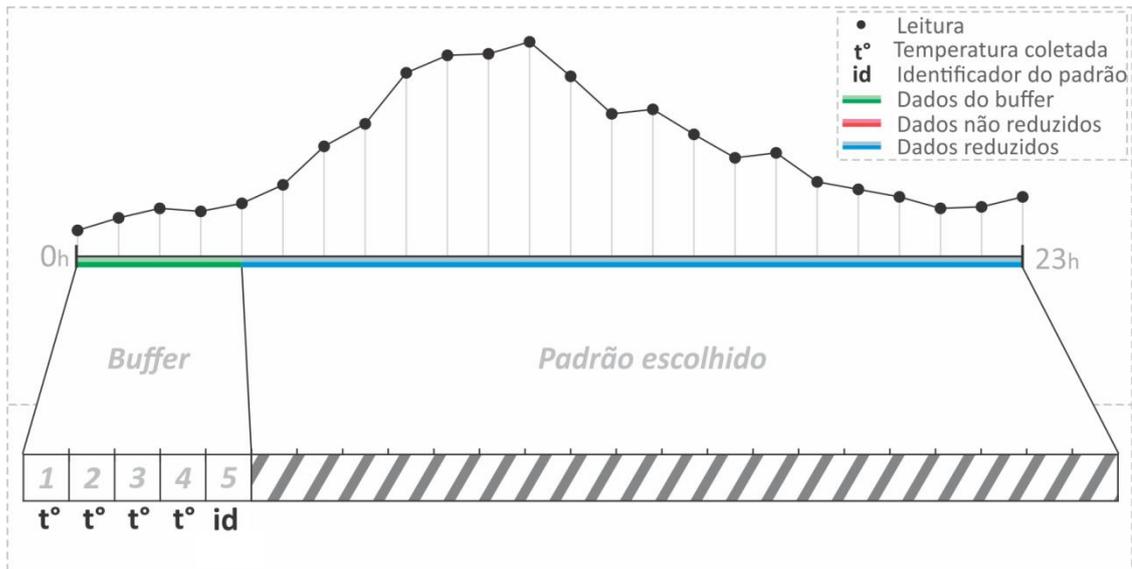


Figura 11. Informação obtida com único padrão.

As leituras de 1 a 4 emitidas pelo buffer contém cada uma, a temperatura mensurada (t°) naquela hora, enquanto a quinta guarda o identificador do padrão escolhido (id). Essa identificação permite saber quais das informações já conhecidas (padrões), devemos considerar. Isto é, o id informado pela última leitura do buffer nos permite saber dentro o banco de perfis climáticos, aquele que corresponde às leituras que serão feitas dali em diante.

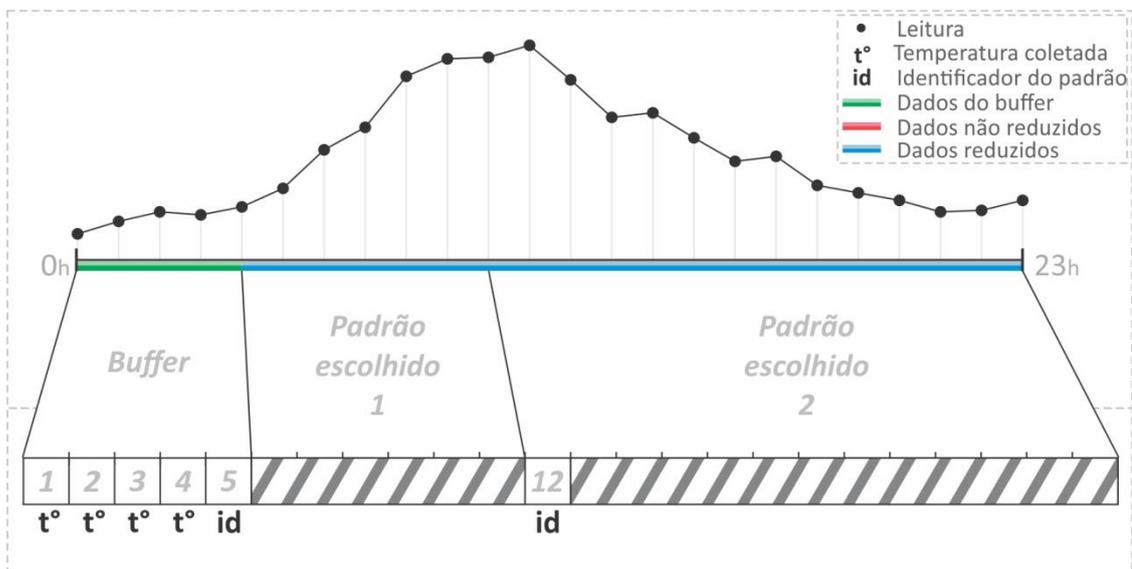


Figura 12. Informação obtida com uma troca de padrões.

No caso apresentado pela Figura 12, logo após os envios de leituras pelo buffer, um padrão é escolhido, no entanto, na décima primeira leitura, este mesmo padrão se torna

defasado, o que motiva uma nova comparação. Nesse momento, ao se encontrar um novo padrão, a décima segunda leitura será enviada contendo apenas o *id* do segundo perfil escolhido para aquele dia. A temperatura não compõe o pacote desta última mensagem, por já estar inserida no novo padrão escolhido.

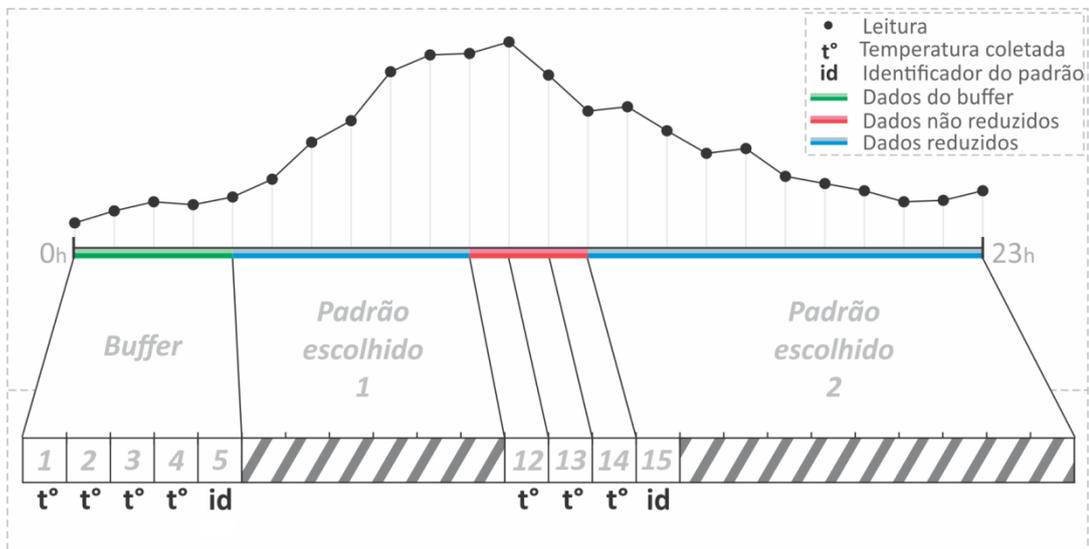


Figura 13. Informação obtida com uma troca de padrões e dados enviados.

A Figura 13 mostra um caso semelhante ao anterior, porém, as leituras 12, 13 e 14 não puderam ser encaixadas em nenhum dos padrões conhecidos e, portanto, são enviadas com as suas respectivas t° . A décima quinta leitura alcança uma comparação positiva e acaba sendo enviada com o *id* do novo padrão. Já na Figura 14 vemos que nas leituras 12 e 19 ocorrem duas defasagens diferentes no mesmo dia, o que levou a escolha de três padrões.

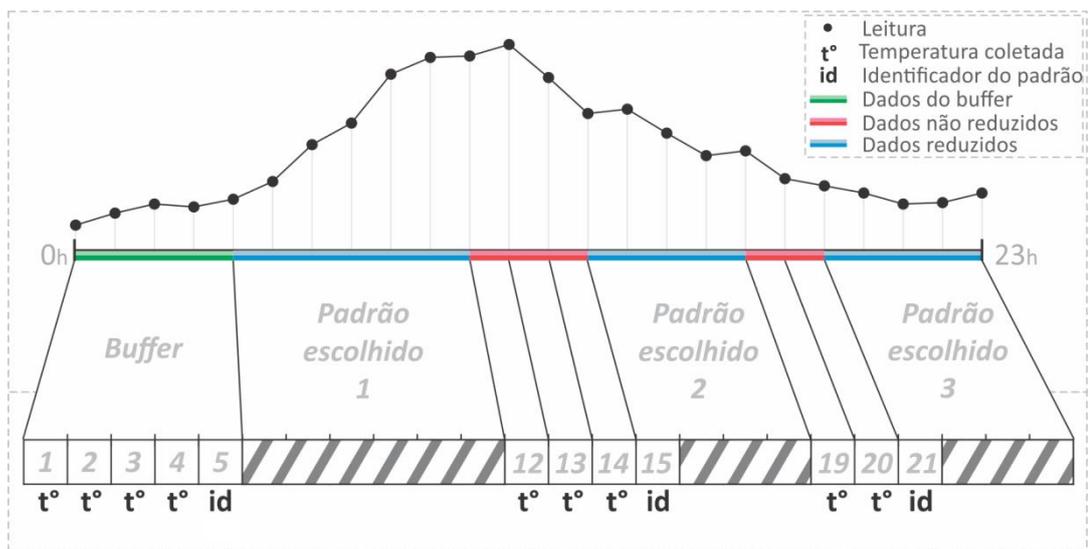


Figura 14. Informação obtida com mais de uma troca de padrões e dados enviados.

3.4 Implementação

O protótipo desenvolvido para coleta de dados em campo, foi baseado na plataforma Arduino⁵, utilizando como microcontrolador o modelo ATmega328⁶, com frequência de 8 MHz e 32 KB de memória flash para armazenamento das instruções. O rádio do protótipo é um módulo XBee – PRO 900HP⁷ com frequência de 900 MHz de operação e 24 dBm de potência. De acordo com o *datasheet* seu alcance varia, entre 610 m e 14 km, a depender da quantidade de obstáculos e da antena a ser utilizada, podendo chegar até 45 km, porém, nos experimentos em campo, tais valores não puderam ser alcançados, pois mesmo utilizando os equipamentos indicados, com uma distancia de 210 m não foi possível estabelecer comunicação entre o nó sensor e a base. Sendo preciso utilizar uma antena de alto ganho (tipo grade) para obtermos sucesso na transmissão de dados. Note também, que o dispositivo é muito limitado de recursos computacionais, o que torna imperativo uma solução leve e energeticamente econômica.

O suporte energético acontece por meio de quatro pilhas AA com 2500 mAh e 1,5 V. O protótipo também conta com uma placa de gravação para cartões SD, a qual armazena todas as leituras coletadas, mesmo aquelas não enviadas pelo rádio.

O algoritmo preditivo de nossa proposta foi codificado em C por ser a linguagem nativa da plataforma Arduino, e seu tamanho total quando embarcado no protótipo foi de aproximadamente 8,6 KB, enquanto as mensagens enviadas pelo rádio variaram de tamanho, dependendo do conteúdo: a mensagem que contém apenas o *id* do padrão escolhido para o dia possui 2 bytes; enquanto a mensagem que contém a temperatura de uma leitura que não pode ser reduzida possui 4 bytes.

3.5 Cenário de Experimentação

Os experimentos foram realizados no apiário da Embrapa Meio-Norte, localizado em Teresina – PI, no segundo semestre de 2013, e no primeiro semestre de 2014. Duas colmeias diferentes foram utilizadas, contendo o mesmo número de quadros de crias e com população

⁵ Arduino - <http://www.arduino.cc/>

⁶ Atmel - <http://www.atmel.com/pt/br/devices/ATMEGA328.aspx>

⁷ Digi/XBee - http://www.digi.com/pdf/ds_xbee900hp_pt.pdf

média (acima de 30 mil abelhas). O total de colmeias no apiário varia entre 10 e 15, a depender do período do ano.

O ambiente que circunda as colmeias é composto de abundante vegetação. Árvores e arbustos que na sua maioria são caducifólias⁸, mas não ao mesmo tempo, o que garante sombra as colmeias mesmo no auge da estiagem. Alguns exemplares de flora são de grande porte como carnaubeiras e, principalmente, babaçus. A Figura 15 mostra o apiário experimental onde foram realizados os experimentos.

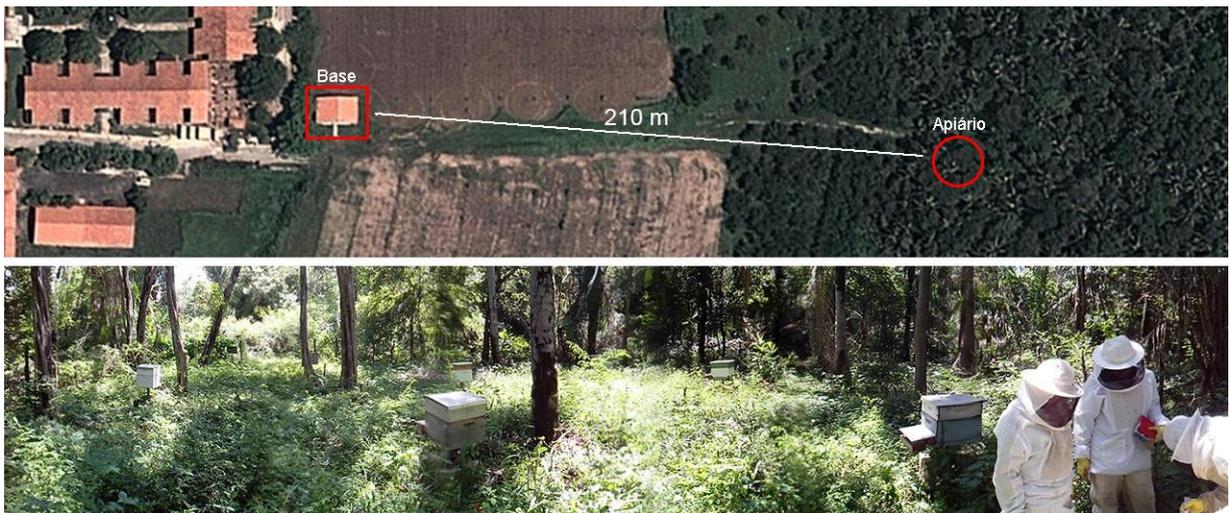


Figura 15. Apiário experimental da Embrapa Meio-Norte em Teresina – PI.

Principalmente durante o primeiro semestre do ano (quando realizamos coletas em 2014), a vegetação é majoritariamente verde e com excesso de umidade, uma vez que esses são meses quentes e chuvosos, e por ser uma região próxima de águas fluviais. Essa combinação climática exige atenção, para impedir que a água e a umidade interfiram no funcionamento adequado da eletrônica que compõe o dispositivo sensor.

Nas primeiras versões, o protótipo de sensoriamento era protegido por um invólucro plástico e sem vedação (Figura 16.a), o que rapidamente demonstrou ser inadequado às intempéries ambientais supracitadas. Em versões seguintes, o invólucro passou a ser confeccionado em madeira, e com brechas laterais vedadas, com apenas uma passagem de ar protegida (Figura 16.b). Assim, foi possível verificar que parte dos problemas foi resolvida, uma vez que o material lenhoso tem como característica física o isolamento térmico.

⁸ Caducifólia – Plantas que, em algum período do ano, perdem suas folhas como estratégia para reter água.

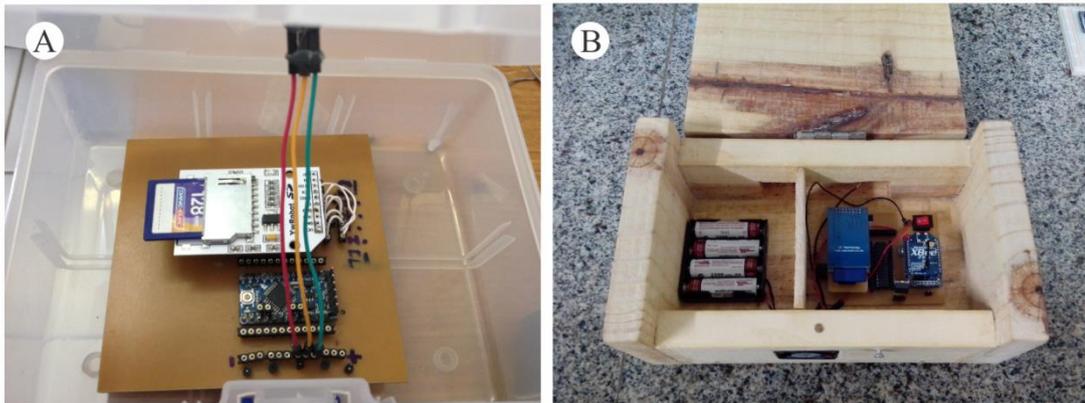


Figura 16. Protótipo sensor com proteções em (a) plástico e (b) madeira.

No entanto, outra inadequação surgiu. Sendo de madeira, o involucro de proteção do dispositivo atraiu a presença de cupins, que também são evitados pelos apicultores. As caixas racionais⁹ que abrigam as colônias de abelhas são na sua maioria, compostas de madeira, em função disso possuem apoios ou cavaletes de sustentação com pequenos repositórios onde é colocada uma mistura de óleo diesel queimado, servindo como barreira física para que formigas e cupins não alcancem a colmeia.

De início, o protótipo foi colocado ao lado da colmeia, em um apoio próprio (Figura 17.a), mas depois de perceber o problema ocasionado pelos cupins, o dispositivo passou a ser posicionado no topo da colmeia (Figura 17.b), tanto por ser uma área que não interfere na circulação das abelhas, como por compartilhar da mesma proteção contra cupins que a caixa racional possui.



Figura 17. Implantação do protótipo com (a) apoio próprio e (b) sobre a colmeia.

⁹ Caixas racionais – São caixas de madeira utilizadas por apicultores para abrigar uma colmeia de abelhas.

Outra questão que demandou atenção particular durante a adaptação do dispositivo de sensoriamento à realidade das colmeias, diz respeito à reação natural das abelhas em cobrir com própolis os elementos que consideram estranhos. Nos primeiros experimentos em campo, o sensor era colocado em contato direto com o interior da caixa racional. Com poucos dias, as abelhas já haviam recoberto por completo o sensor, dificultando sua atividade de sensoriamento. Em função disso, os pesquisadores em Apicultura da Embrapa sugeriram que o sensor (a única parte dos equipamentos de monitoramento em contato com as abelhas) fosse encapsulado e revestido com a cera¹⁰ fabricada pelas próprias abelhas. Assim, o sensor passou despercebido no interior da colmeia e sua capacidade de medição não foi comprometida.

Um aspecto que também possui importância na implantação do sensor é a proximidade que deve existir entre o mesmo e o ninho, onde estão localizados os quadros de crias. A principal razão para a termorregulação nas colmeias é a preservação das crias (SOMBRA, 2013), pois estas irão garantir o futuro da colônia, muito embora, haja razões secundárias conforme descrito no Capítulo 1. Em função disso, a região do ninho é onde se concentram os maiores esforços das abelhas na manutenção do microclima. Na Figura 18, têm-se a ilustração do sensor na colmeia.

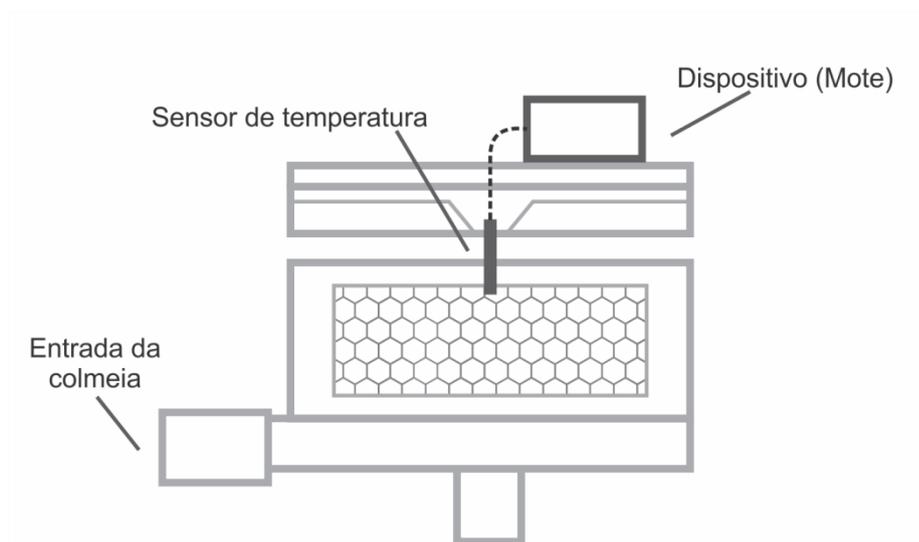


Figura 18. Esquema da implantação do protótipo e de seu sensor na colmeia.

¹⁰ Cera – Resina secretada por glândulas das abelhas e que é utilizada na construção dos alvéolos que guardam mel, pólen e larvas.

3.6 Modelo de Energia

Para obter o consumo, utilizamos o modelo de energia proposto por (JURDAK; RUZZELLI; O'HARE, 2008). Este modelo de energia foi escolhido pela sua implementação abrangente e por ser utilizado em outros trabalhos de RSSF do grupo de pesquisa ao qual este trabalho está vinculado (CARVALHO et al., 2011; HERMETO et al., 2013, 2014; KRIDI; CARVALHO; GOMES, 2014):

$$E_t = P_{enviados} * P_{tamanho} * T_B * I_t * V, \quad (2)$$

em que E_t representa o custo energético em miliJoules (mJ) para transmissões de pacotes; $P_{enviados}$ é a quantidade (em si) de pacotes enviados; $P_{tamanho}$ é o tamanho em bytes de cada pacote (4 bytes referentes a um número do tipo float que representa a temperatura enviada), considerando apenas o payload; T_B representa o tempo necessário para o módulo XBee enviar 1byte (32); I_t é o valor de corrente elétrica no módulo sem fio em modo de transmissão (45 mA) e V é a tensão elétrica fornecida ao dispositivo. Veja que não analisamos os custos de recebimento de pacotes, uma vez que estamos interessados em verificar o quanto será economizado por nó ao reduzir o envio de dados. Todos os valores listados acima tem por referência o datasheet do módulo XBee .

3.7 Resumo do Capítulo

Neste capítulo abordamos as etapas de funcionamento de nossa proposta desde o tratamento dos dados até a busca de leituras atípicas no monitoramento. Inicialmente dividimos o conjunto de dados que serviu de base para a obtenção dos padrões térmicos mensais. Aplicamos uma técnica de clusterização por similaridade com o intuito de minerar os padrões térmicos diários que mais se repetiram em cada mês.

Estes padrões servem como referência de comportamento típico, ou esperado, tanto para temperaturas externas como temperaturas internas as colmeias, e serão sempre confrontados com as leituras realizadas pelo dispositivo sensor.

A implantação de nossa proposta em campo por meio do protótipo de sensoriamento trouxe desafios circunstanciais que se juntam aos desafios já esperados em aplicações de monitoramento de *habitats*. Além das intempéries do ambiente como alta umidade, chuvas e

cupins, a adaptação da eletrônica do dispositivo nas colmeias teve que levar em consideração, a reação agressiva das abelhas com elementos estranhos ao seu convívio no interior da colmeia, levando a adoção de medidas simples, mas eficientes na camuflagem do sensor interno e no sucesso do monitoramento.

Capítulo 4

Resultados

Os resultados mostram a redução obtida por um dispositivo ao ser observada a semelhança das leituras com os padrões térmicos determinados previamente, assim como a capacidade do algoritmo preditivo de detectar variações climáticas no interior da colmeia, que possam ser um indicativo de estresse e enxameação. Focamos os testes no segundo semestre de 2013 (um dos períodos mais quentes do ano na região Nordeste) e no primeiro semestre de 2014 (período quente e chuvoso).

4.1 Dados Monitorados

A partir do protótipo de monitoramento, foi possível coletar leituras de temperatura termorreguladas internamente pelas abelhas e relacioná-las às temperaturas externas (do ambiente). Estas informações coletadas atestam que independentemente da temperatura externa, o microclima das colmeias encontra-se majoritariamente próximo do intervalo entre 33 °C e 36 °C, salvo nos casos em que as abelhas não conseguem mais termorregular.

Na Figura 19 vemos leituras de temperatura externas e internas às colmeias, coletadas em campo pelo protótipo de sensoriamento. É possível notar que existe uma grande variedade de temperaturas entre meses temporalmente afastados.

O mês de novembro/2013 (Figura 19.a) possui temperaturas naturalmente elevadas, por estar no período de estiagem, que é compreendido entre setembro e dezembro no Piauí. Neste período, por ser o mais quente do ano, ocorre a maior incidência de abandonos em colmeias, pois como podemos ver, as temperaturas ficam próximas de 40 °C.

Nas Figura 19.b e 19.c, vemos que a variação térmica nos meses de abril e junho é mais amena, não passando de 34 °C. Nesse período, a presença de chuvas é mais constante, principalmente em abril. Durante esses meses, a maior parte do trabalho de termorregulação das abelhas é no sentido de aquecer o microclima.

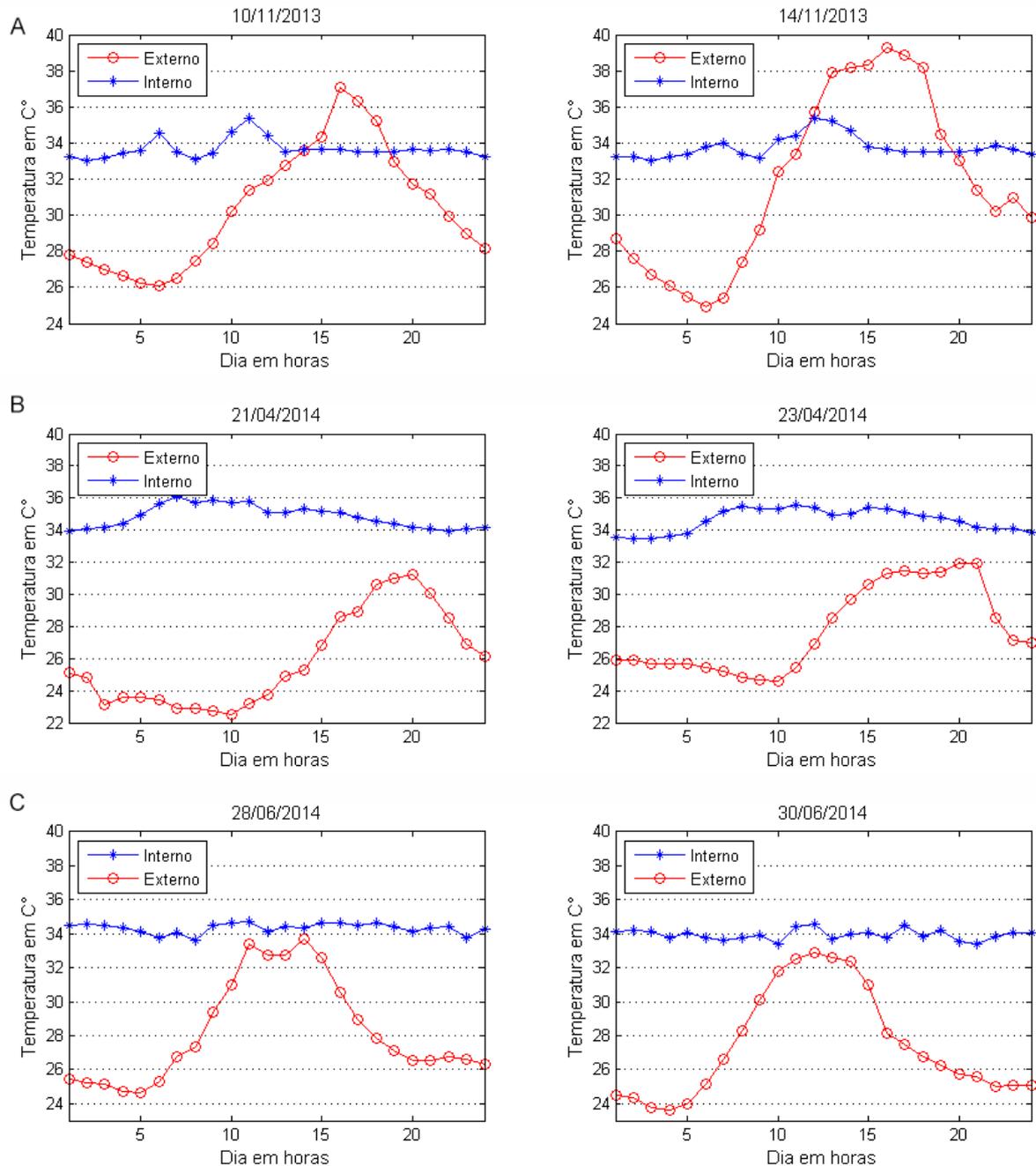


Figura 19. Temperaturas coletadas interna e externamente nas colmeias em (a) novembro de 2013, (b) abril de 2014 e (c) junho de 2014.

Os dados coletados confirmam o que a literatura indica sobre a constância da temperatura termorregulada pelas abelhas, independente do período do ano, o que habilita a execução do algoritmo preditivo na sua principal função, detectar aquecimentos atípicos em colmeias comparando o seu microclima saudável (por meio dos padrões) com leituras coletadas em campo.

4.2 Detecção de Aquecimento

Para reconhecer o aumento da temperatura dentro da colmeia, o algoritmo preditivo utiliza comparação com padrões, na busca de uma ou várias leituras que se apresentem fora do esperado. Ao detectar um aquecimento fora dos padrões por ao menos 3 horas seguidas, o algoritmo envia mensagens de alerta ao sorvedouro, avisando sobre uma situação de risco ou desconforto.

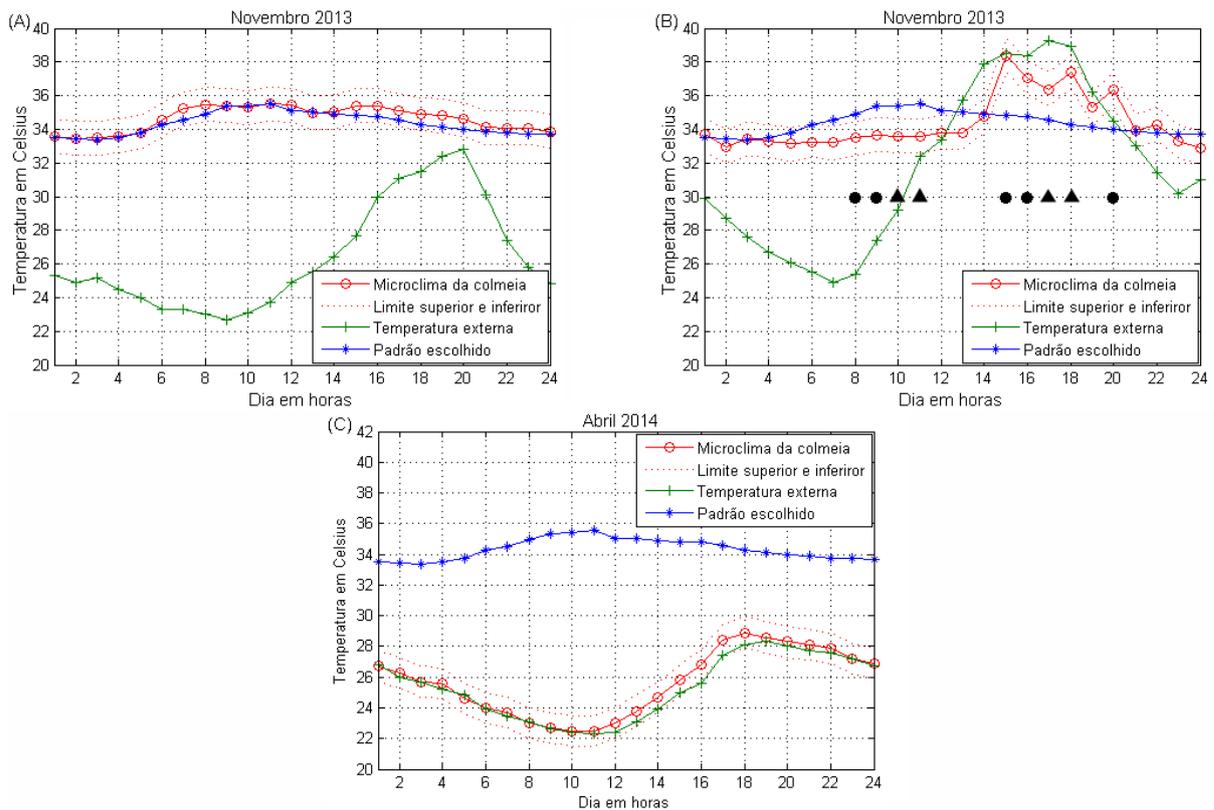


Figura 20. (a) Microclima saudável, (b) Estresse e aquecimento e (c) Colmeia vazia - (Limite superior e inferior de 1°C para as comparações).

A Figura 20 mostra três estados distintos de uma colmeia de abelhas, a partir de dados coletados em momentos diferentes, durante o segundo semestre de 2013 e primeiro semestre de 2014, com uma das primeiras versões do algoritmo, onde só se considerava um padrão interno. Note que as linhas pontilhadas delimitam o limiar superior e inferior da comparação entre leituras em coletadas em campo e padrões, e como dito na Subseção 3.2.1, no monitoramento interno a colmeia este limiar foi de 1°C para mais e para menos. Na Figura 20.a, vemos um microclima “saudável”, isto é, com variações dentro do esperado e compreendido pelo padrão interno. Neste caso, a temperatura externa se encontra abaixo do intervalo de 33 °C a 36 °C, termorregulado pelas abelhas.

Uma situação de estresse evidenciada pela falha na termorregulação perante altas temperaturas pode ser vista na Figura 20.b. Observe que externamente foi observado um pico de temperatura próximo de 40 °C por volta das 17h, enquanto o microclima apresentou dois momentos de estresse. O primeiro deles a partir das 8h, quando há uma variação atípica em relação ao padrão, mas que não representa aquecimento, e que pode ter sido originada por outros fatores alheios a temperatura, no entanto, é reportada pelo algoritmo preditivo. O segundo estresse no microclima ocorre por volta das às 15h, ocasião na qual o aquecimento perdura até às 18h.

Ainda na Figura 20.b, podemos observar as mensagens emitidas pelo algoritmo, que podem indicar presença de leitura de aquecimento (“●”) e alerta para risco de enxameação (“▲”). A mensagem às 20h representa uma variação isolada e não chega a caracterizar um estresse considerável. No entanto, observamos que as mensagens às 8h, 9h, 10h e 15h, 16h, 17h reúnem os requisitos para um alerta de estresse considerável (possuir pelo menos 3 horas/leituras fora do padrão). A partir das leituras às 10h e às 17h, é enviada a mensagem de alerta para (alto) risco de enxameação. A mensagem seguinte mantém o alerta até que a temperatura volte aos patamares iguais ou abaixo da linha média do padrão. A mensagem de alerta se diferencia por não mostrar apenas a temperatura, mas também um caractere (#) que indica a constância do fenômeno, afinal, o alerta só é emitido a partir da terceira leitura seguinte de aquecimento.

Na Figura 20.c, vemos as leituras compatíveis com uma colmeia já esvaziada, onde não existem mais abelhas no seu interior, devido ao abandono das mesmas. O microclima se mantém ligeiramente acima da temperatura externa e seguindo a mesma curva.

Posteriormente, foi acrescentado ao algoritmo preditivo um conjunto maior de padrões, seis ao todo, que foram obtidos a partir de leituras internas coletadas em períodos diferentes do ano, e conseguem contemplar as variações observadas no microclima, evitando que situações que não representem um estresse considerável sejam alertadas.

Na Figura 21 vemos novas coletas com o conjunto completo de padrões como referência. Os gráficos A e B mostram alertas sobre variações pontuais em relação aos padrões internos, são picos próximos de 37 °C que demonstram flutuações passageiras do microclima da colmeia. Enquanto nos gráficos C e D, vemos que o microclima se mantém dentro da normalidade esperada, e nenhuma mensagem de aquecimento é gerada.

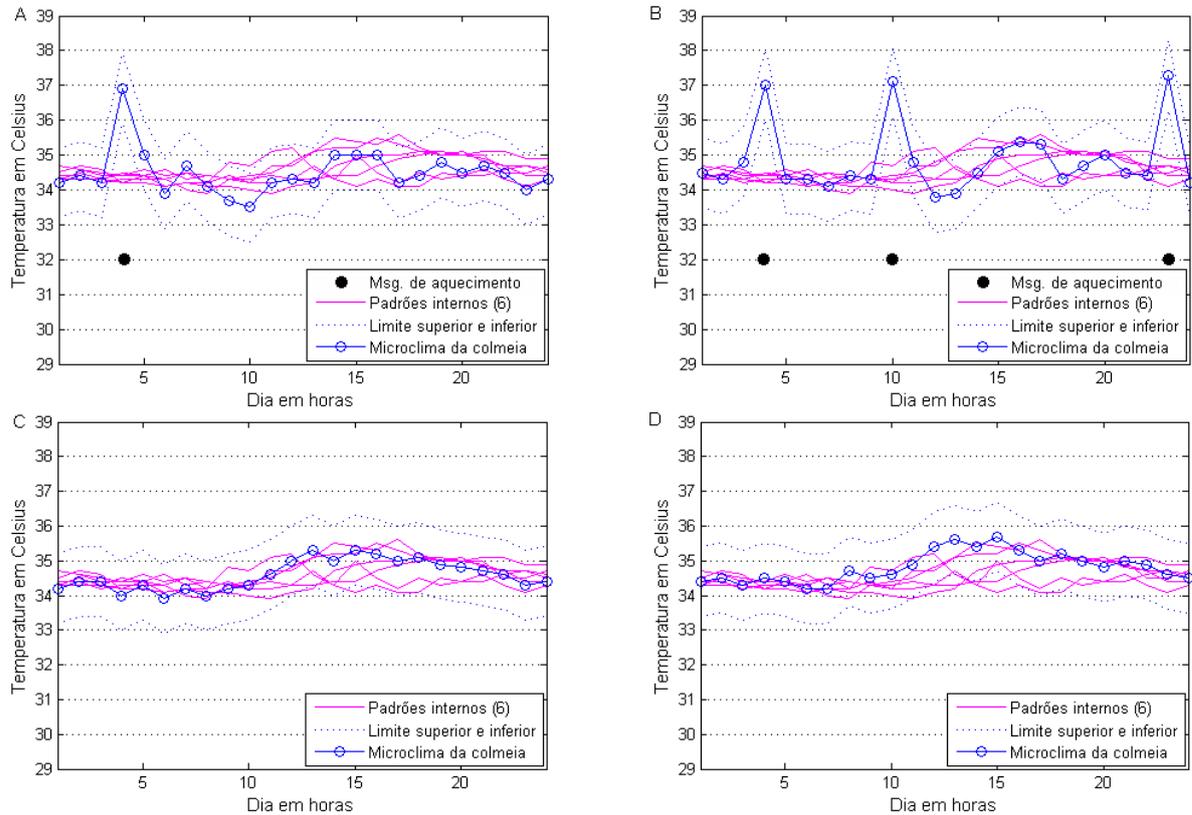


Figura 21. Coletas internas com seis padrões como referência – (Limite superior e inferior de 1° C para as comparações).

4.3 Consumo de Energia e Redução de Dados

Para comparar o desempenho de nossa solução, realizamos simulações no Matlab que contemplam um ano inteiro. Foram utilizadas métricas relativas ao consumo de energia e ao número de pacotes enviados e variando os tamanhos dos *buffers*.

Na Figura 22 é mostrado o consumo de energia relativo aos dados enviados (aqueles que não puderam ser reduzidos) nos meses de 2013, utilizando padrões extraídos dos dados climáticos de 2012. Como os meses subsequentes mostraram resultados semelhantes, a Figura 22 mostra o consumo dos meses ímpares de 2013.

A opção sem redução envia todas as 24 leituras diárias, o seu consumo acaba sendo o maior. Por outro lado, as outras três opções (com *buffers* de tamanhos diferentes) utilizando o nosso algoritmo preditivo, reduzem significativamente a quantidade de pacotes e, conseqüentemente, o consumo energético em até 90,7% (Figura 22 - janeiro, *buffer*=3).

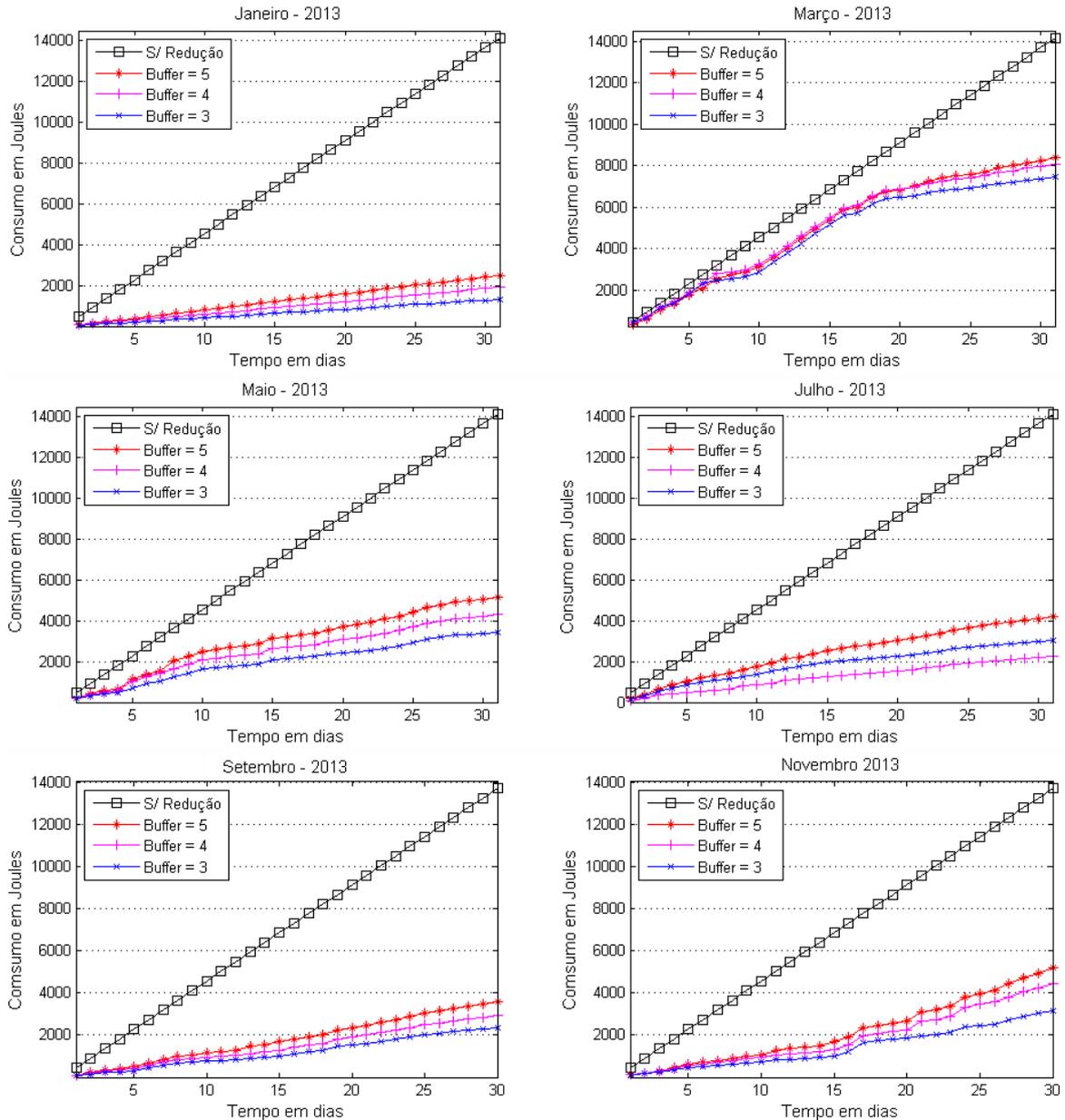


Figura 22. Consumo energético (J) dos meses ímpares de 2013.

Conforme a subseção 3.2.3, o tamanho do *buffer* afeta o consumo, o que justifica os diferentes valores mostrados na Figura 22 para três opções de tamanho de leituras usando nosso algoritmo. Se usarmos um *buffer* com capacidade para 5 leituras, significa que pelo menos 4 serão enviadas de forma independente de um padrão estar associado ou não com essas leituras.

Quando usamos *buffers* com tamanho menor (por exemplo, tamanho = 3) o consumo diminui ainda mais, porque, além de resultar numa comparação inicial menos restritiva, o número de pacotes enviados de forma independente de uma comparação positiva é menor.

Isso também afeta o número de pacotes reduzidos, como vemos na Figura 23, onde a opção com tamanho 3 reduz mais que as outras opções com tamanhos 4 e 5.

Consideramos a opção de tamanho 4 como a mais interessante, por não afetar tanto na precisão inicial do algoritmo preditivo, já que a comparação inicial terá pelo menos quatro leituras compatíveis, e por apresentar um consumo relativamente baixo, em comparação com a opção de tamanho 3. Nos meses de janeiro, julho e setembro (onde se registram os melhores resultados), com *buffer* de tamanho 4, a queda no consumo foi de 86,6%, 83,9% e 83,4%, respectivamente (Figura 22 – janeiro, julho e setembro).

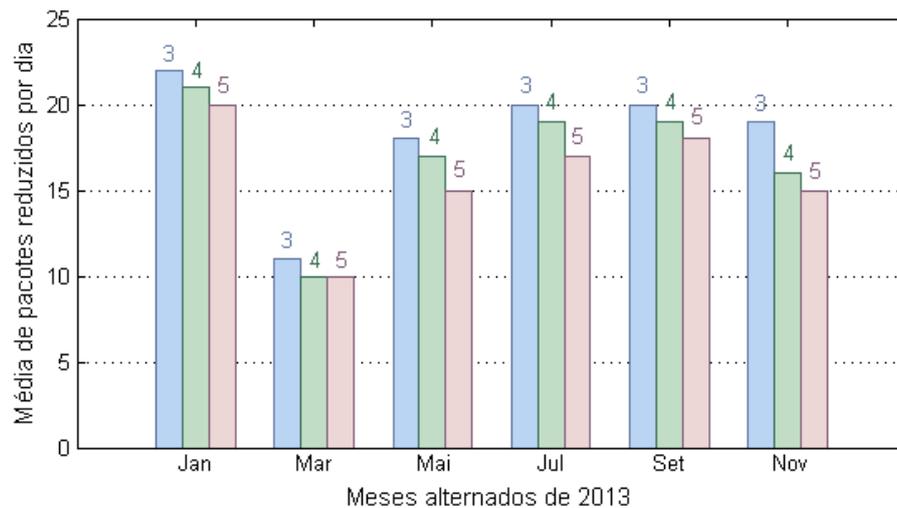


Figura 23. Média de pacotes reduzidos por dia, com *buffers* de tamanho 3, 4 e 5.

Março/2013 foi o mês com maior gasto em função da baixa redução, registrando uma queda no consumo de 48% (Figura 22 - março, *buffer*=3).

Na Figura 24, notamos que a quantidade de pacotes enviados em cada mês pelo dispositivo reduz à medida que o tamanho da janela de comparação inicial for menor. E, conforme dito na subseção 3.2.3, o tamanho do *buffer* interfere na precisão inicial do algoritmo, pois se modifica a quantidade de leituras necessárias para a comparação inicial com os padrões.

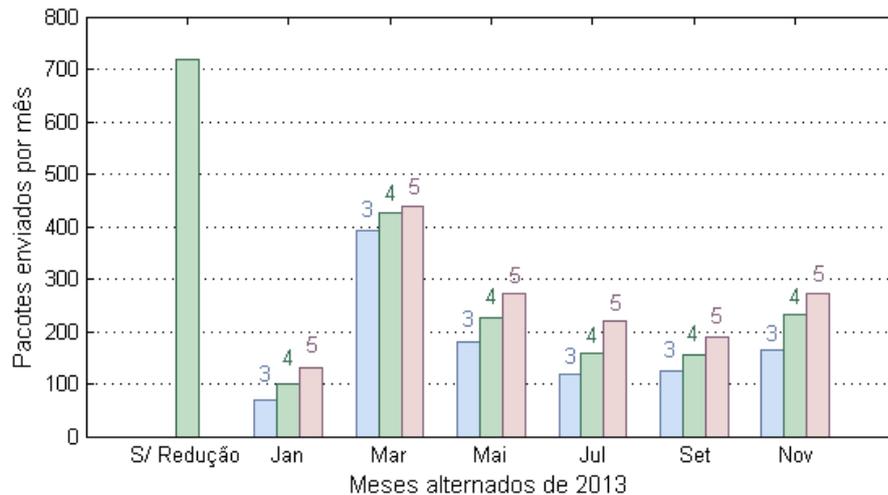


Figura 24. Pacotes enviados por mês com *buffers* de tamanho 3, 4 e 5.

Na Tabela 6 observa-se que, na maioria dos meses, o tamanho do *buffer* inicial de comparações está inversamente associado à quantidade de trocas dos padrões (vide subseção 3.2). A explicação, tal como indicado na subseção 3.2.3, é que uma mudança no tamanho do *buffer*, também influencia na precisão inicial do algoritmo, pois altera a quantidade de leituras requeridas para uma comparação inicial com padrões, logo, quanto menor for o *buffer*, maiores são as chances de escolhermos inicialmente um padrão que não seja muito duradouro, levando a trocas adicionais ao longo do dia.

Tabela 6. Trocas de padrões por mês em relação ao tamanho do *buffer*.

Nº de trocas nos meses	Jan	Mar	Mai	Jul	Set	Nov
<i>Buffer</i> = 5	53	92	119	117	123	84
<i>Buffer</i> = 4	57	88	130	84	137	92
<i>Buffer</i> = 3	58	96	140	120	139	106

Nos experimentos a seguir, foram utilizados três valores diferentes para k , a fim de verificar qual deles geraria menor erro. Para tanto, avaliamos o erro cumulativo gerado pelo algoritmo preditivo, quando utilizamos diferentes quantidades de padrões ($k=4$, $k=5$ e $k=6$), com um *buffer* = 4 para os meses ímpares de 2013 (Figura 25).

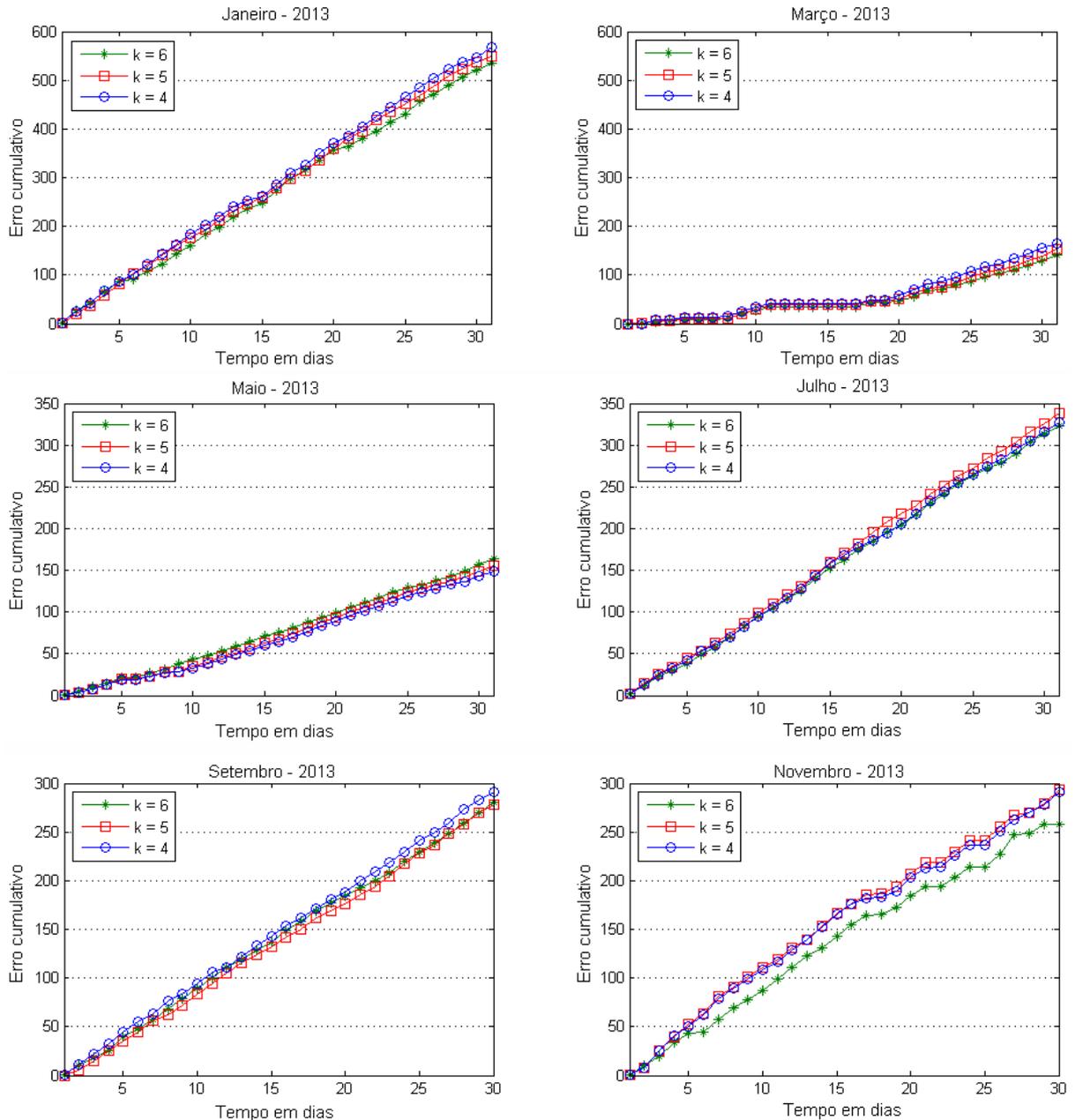


Figura 25. Erro cumulativo para três valores de k .

Observa-se na Figura 25 que as três opções de k possuem um erro muito semelhante em todos os meses, com diferença máxima de 36°C em janeiro, enquanto nos outros meses a média das maiores diferenças foi de 16°C . Elegemos a opção com $k = 6$ padrões como a mais indicada por ter apresentado o menor erro cumulativo do ano em novembro.

A Tabela 7 resume todos os aspectos observados ao longo do ano quando se utiliza o algoritmo preditivo configurado com *buffer* de tamanho quatro e seis padrões de referência, por ser a combinação que obteve melhores resultados.

Tabela 7. Desempenho do algoritmo preditivo em todos os meses de 2013.

	Troca média por dia	Maior erro acumulado em um dia	Menor erro acumulado em um dia	Amplitude térmica do mês	Média de pacotes reduzidos por dia	Taxa de redução no mês
Jan	2	25,8	10,2	14	20	86,6%
Fev	1	20,6	7,9	14,2	19	77,8%
Mar	3	13,6	5,3	14,3	10	43,1%
Abr	4	12,2	5,4	11,7	15	63,1%
Mai	4	8,0	4,3	11,6	17	70,0%
Jun	2	11,4	4,4	12,9	18	73,8%
Jul	3	15,4	7,3	16,2	19	78,6%
Ago	3	18,3	5,1	17,8	20	86,4%
Set	5	14,3	6,3	19,3	19	78,6%
Out	3	10,2	2,3	18,1	17	71,1%
Nov	3	18,1	6,4	16,7	16	68,5%
Dez	4	20,3	8,2	14,6	19	79,7%

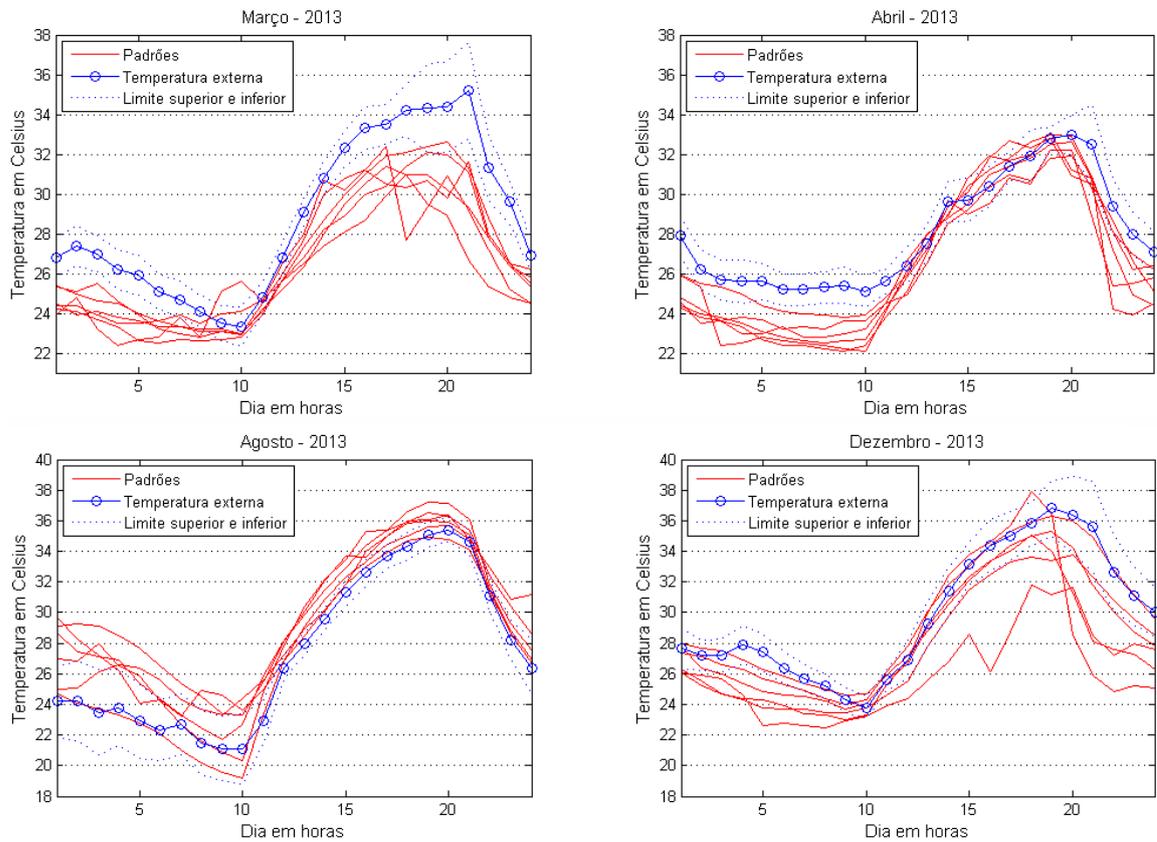


Figura 26. Correspondência entre leituras e padrões – (Limite superior e inferior correspondente ao desvio padrão).

Em nove dos doze meses, o algoritmo preditivo apresenta uma taxa de redução de dados a partir de 70%, o que representa pelo menos 520 pacotes reduzidos em cada mês. A menor taxa de redução foi observada no mês de março, e deve-se ao fato de que este mês em 2013 apresentou variações climáticas diferentes do mesmo mês em 2012, o que tornou os padrões pouco efetivos para a redução.

A Figura 26 mostra exemplos de execução da proposta nos meses com menor e maior redução. Observe que as linhas pontilhadas delimitam o limiar superior e inferior para comparação e como pode ser visto na subseção 3.2.1, no monitoramento externo a colmeia este limiar será obtido pelo desvio padrão observado para cada hora.

Ainda na Figura 26, nos meses de março e abril (com menores taxas de redução), uma grande parte das leituras coletadas externamente não se encaixa em nenhum dos seis padrões térmicos de referência. Por outro lado, nos meses de agosto e dezembro, todas as leituras do dia são contempladas por algum dos padrões.

4.4 Resumo do Capítulo

Neste capítulo apresentamos os resultados obtidos pelo algoritmo preditivo quando submetido a simulações de alto nível para indicar a quantidade de dados reduzidos em um período de um ano, e o erro cumulativo oriundo das previsões. Também analisamos o resultado da execução do algoritmo quando embarcado e implantado em colmeias, onde o objetivo foi determinar eventos ligados ao aquecimento do microclima.

Os testes para medir o consumo foram realizados a partir da execução do algoritmo preditivo com *buffers* comportando 3, 4 e 5 leituras. A opção com *buffer* de tamanho 3 apresentou o menor consumo de energia na maioria dos cenários. No entanto, como o tamanho do *buffer* influencia na precisão inicial de escolha dos padrões do algoritmo preditivo, a opção com *buffer* de tamanho 4 acaba sendo mais indicada, pois também possui um consumo baixo e afeta menos a execução do algoritmo.

Para medir o erro cumulativo, foi utilizado um *buffer* de tamanho quatro e quantidades de padrões diferentes, variando entre 4, 5 e 6 padrões de referência. Mesmo assim, os resultados foram muito semelhantes, havendo leve vantagem para a opção com seis padrões por contemplar uma maior variedade de escolha para o algoritmo. Inicialmente, nossa proposta contava com apenas um padrão interno, o que poderia levar à detecção de atividades

não relacionadas com fenômenos atípicos, em função disso, foram adicionados seis padrões internos. Por fim, os resultados indicam uma economia de energia de 48% (no mês de março/2013) até 90,7% (no mês de novembro/2013) com um *buffer* de três leituras, em momentos diferentes do ano, em relação ao monitoramento sem nenhuma técnica de redução de dados (Figura 22). Com um *buffer* de quatro leituras também foram registradas quedas de consumo de energia acima de 80%. Além disso, em nove dos 12 meses de teste, foi evitado o envio de mais de 70% dos dados chegando a 86,6% de redução durante janeiro/2013 (Tabela 7). Submetido a testes em campo, o algoritmo também foi capaz de alertar a existência de aquecimentos prolongados (mais de 3 horas) no interior da colmeia, e reportar as leituras atípicas (Figura 20.b).

Capítulo 5

Conclusões

Nesta dissertação propomos um monitoramento em colmeias de abelhas capaz de detectar informações específicas sobre o comportamento das mesmas em condições de temperatura adversas, analisar o microclima e alertar sobre aquecimentos que podem causar enxameação por abandono. Para tanto, desenvolvemos um algoritmo baseado em clusterização que consiste em (i) uma abordagem preditiva que a partir de um conjunto de padrões térmicos identifica leituras fora do esperado, e (ii) um monitoramento proativo e contínuo via RSSF para avaliação da integridade entre o histórico dos padrões térmicos e os dados de temperatura de uma colmeia coletados por sensores em campo. De forma complementar e para atender ao requisito de autonomia no monitoramento ambiental, como um monitoramento contínuo tende a gerar um grande volume de dados sensorizados e transmitidos, o que pode diminuir a vida útil da rede, a abordagem preditiva proposta reduz o envio de informações redundantes na origem o que, conseqüentemente, reduz os custos de transmissão de dados e o gasto energético nos dispositivos.

5.1 Contribuições

As principais contribuições deste trabalho são:

- i. Elaboração de um monitoramento sem fio orientado ao aquecimento das colmeias como suporte à pesquisa em apicultura sobre perdas anuais pelo abandono de enxames;
- ii. Confecção de um padrão térmico para colmeias de abelhas da espécie *Apis mellifera*. Através de monitoramento em campo via RSSF, identificamos a existência de um padrão térmico para microclima de colmeias deste tipo de abelhas no intervalo de 33 °C a 36 °C, independentemente do período do ano;
- iii. Proposta de um algoritmo preditivo que identifica e alerta a presença de aquecimento atípico do microclima, i.e. fora do padrão térmico encontrado. Os alertas gerados pelo algoritmo podem evitar uma potencial enxameação;

- iv. Um mecanismo de redução de dados nos nós de origem para detecção de leituras térmicas já conhecidas. Isso reduz o tempo de atividade do rádio dos nós sensores e, por conseguinte, reduz também o consumo energético.

5.2 Produção Científica

Publicamos o artigo intitulado "*Um Algoritmo Distribuído para Eleição de Líderes de Clusters Semânticos em Redes de Sensores sem Fio*" (HERMETO et al., 2013), premiado com o 2o lugar no V Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva. Desta premiação veio o convite para submissão de uma versão estendida intitulada "*A distributed algorithm for semantic collectors election in wireless sensors networks*" (HERMETO et al., 2014).

Mais diretamente ligada à proposta desta dissertação, publicamos o artigo "*A Predictive Algorithm for Mitigate Swarming Bees through Proactive Monitoring via Wireless Sensor Networks*" (KRIDI; CARVALHO; GOMES, 2014).

5.3 Trabalhos Futuros

Pretendemos manter os experimentos em campo com o objetivo de aumentar cada vez mais a base de dados de informações relativas ao aquecimento interno que tendem a ser mais presentes a partir do mês de setembro. Devemos fazer testes em campo com mais dispositivos e reavaliar os índices de redução do algoritmo.

Também devemos usar os dados coletados por sensores nas colmeias para alimentar uma base de dados que possa ser acessada via web. Essa base deverá receber e tratar alertas de aquecimento.

Outra possibilidade é aprimorar a técnica de comparação entre dados lidos e padrões, no sentido de diminuir o erro e aumentar a precisão do algoritmo preditivo. De forma complementar, além da busca do melhoramento e precisão do algoritmo preditivo, devemos contemplar o sensoriamento de outras variáveis externas e internas às colmeias tais como, umidade, luminosidade e vibrações.

Por fim, esta pesquisa foi realizada para enxameação de abelhas melíferas (*Apis mellifera*). Uma sugestão de perspectiva seria estender os estudos aqui realizados para outros grupos de abelhas, como por exemplo os meliponíneos ou abelhas sem ferrão, as quais são nativas do Brasil e os principais responsáveis pela polinização no nosso país¹¹.

¹¹ <http://www.abelhas.ufc.br/documentos/meliponineos.pdf>

Referências

- ALIPPI, C.; CAMPLANI, C.; GALPERTI, C.; ROVERI, M. **A Robust, Adaptive, Solar-Powered WSN Framework for Aquatic Environmental Monitoring**. IEEE Sensors Journal, v. 11, n. 1, p. 45–55, 2011.
- ALMEIDA, G. F. DE. **Fatores que interferem no comportamento enxameatório de abelhas africanizadas**. [Tese] Universidade de São Paulo, 2008.
- ALMEIDA, G. F.; GRASSI, M. L.; GRAMACHO, K. P.; GONÇALVES, L. S. **Comportamento enxameatório em abelhas africanizadas induzido por temperatura com auxílio de câmara de controle de temperatura, sensores e apidômetros**. XVI Congresso Brasileiro de Apicultura e II Congresso Brasileiro de Meliponicultura, v. Aracaju, 2006.
- ANASTASI, G.; CONTI, M; DI FRANCESCO, M.; PASSARELLA, A. **Energy conservation in wireless sensor networks: A survey**. Ad Hoc Networks, v. 7, n. 3, p. 537–568, 2009. doi: < 10.1016/j.adhoc.2008.06.003 >
- BARRENETXEA, G.; INGELREST, F.; SCHAEFER, G.; VETTERLI, M.; COUACH, O.; PARLANGE, M. **SensorScope: Out-of-the-Box Environmental Monitoring**. International Conference on Information Processing in Sensor Networks (ipsn 2008). Anais. IEEE, 2008. doi: < 10.1109/IPSIN.2008.28 >.
- BENCSIK, M.; BENCSIK, J.; BAXTER, M.; LUCIAN, A.; ROMIEU, J.; MILLET, M. **Identification of the honey bee swarming process by analysing the time course of hive vibrations**. Computers and Electronics in Agriculture, v. 76, n. 1, p. 44–50, 2011. doi: < 10.1016/j.compag.2011.01.004 >
- CARVALHO, C.; GOMES, D. G.; AGOULMINE, N.; & DE SOUZA, J. N. **Improving prediction accuracy for WSN data reduction by applying multivariate spatio-temporal correlation**. Sensors (Basel, Switzerland), v. 11, n. 11, p. 10010–37, 2011. doi: < 10.3390/s111110010 >
- FERRARI, S.; SILVA, M.; GUARINO, M.; & BERCKMANS, D. **Monitoring of swarming sounds in bee hives for early detection of the swarming period**. Computers and Electronics in Agriculture, v. 64, n. 1, p. 72–77, 2008. doi: < 10.1016/j.compag.2008.05.010 >
- FREITAS, B. M.; SOUSA, R. M., GABRIEL, I., & BOMFIM, A. **Absconding and and migratory behaviors of feral Africanized Africanized honey bee (Apis mellifera L.) colonies in NE Brazil**. v. 2, p. 381–385, 2007.
- GOENSE, D.; THELEN, J.; LANGENDOEN, K. **Wireless Sensor Networks for Precise Phytophthora Decision Support**. Tampa, p. 17-20. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2005. doi: < 10.13031/2013.19845 >

GARCIA, F. P.; ANDRADE, R. M. C.; OLIVEIRA, C. T.; SOUZA, J. N. **EPMOST: an energy-efficient passive monitoring system for wireless sensor networks**. *Sensors* (Basel, Switzerland), v. 14, n. 6, p. 10804–28. 2014. doi: < 10.3390/s140610804 >

HALL, M.; FRANK, E.; HOLMES, G.; PFAHRINGER, B.; REUTEMANN, P.; WITTEN, I. H. **The WEKA data mining software**. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, v. 11, n. 1, p. 10, 16. 2009. doi: < 10.1145/1656274.1656278 >

HERMETO, R. T.; KRIDI, D. S.; ROCHA, A. R.; GOMES, D. G. **Um Algoritmo Distribuído para Eleição de Líderes de Clusters Semânticos em Redes de Sensores sem Fio**. *SBCUP - V Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva*, n. i, 2013.

HERMETO, R. T.; KRIDI, D. S.; ROCHA, A. R.; GOMES, D. G. **A distributed algorithm for semantic collectors election in wireless sensors networks**. *Journal of Applied Computing Research*, v. 3, n. 1, p. 1–10, 2014. doi: < 10.4013/jacr.2013.31.01 >

HORMANN, L. B.; GLATZ, P. M.; STEGER, C.; WEISS, R. **Designing of efficient energy harvesting systems for autonomous WSNs using a tier model**. 18th International Conference on Telecommunications. IEEE, 2011. doi: < 10.1109/CTS.2011.5898913 >

JIANG, H.; JIN, S. **Prediction or Not? An Energy-Efficient Framework for Clustering-Based Data Collection in Wireless Sensor Networks**. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, v. 22, n. 6, p. 1064–1071, 2011. doi: < 10.1109/TPDS.2010.174 >

JURDAK, R.; RUZZELLI, A. G.; O'HARE, G. M. P. **Adaptive Radio Modes in Sensor Networks: How Deep to Sleep?**. 5th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, p. 386–394, 2008. doi: < 10.1109/SAHCN.2008.54 >

KAWALE, J.; LIESS, S.; KUMAR, V.; LALL, U.; GANGULY. **Mining time-lagged relationships in spatio-temporal climate data**. *Conference on Intelligent Data Understanding*, p. 130–135, 2012.

KERR, W. E.; CARVALHO, G. A.; SILVA, A. C.; & ASSIS, M, G, P. **Aspectos pouco mencionados da biodiversidade amazônica**. *Parcerias Estratégicas*, p. 20–41, 2001.

KRIDI, D. S.; CARVALHO, C. G. N. DE; GOMES, D. G. **A predictive algorithm for mitigate swarming bees through proactive monitoring via wireless sensor networks**. *Proceedings of the 11th ACM symposium on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, & ubiquitous networks - PE-WASUN '14*. *Anais...*New York, USA: ACM Press, 2014. doi: < 10.1145/2653481.2653482 >

MAYILVAHANAN, M.; SABITHA, M. **Estimating the availability of sunshine using data mining techniques**. *International Conference on Computer Communication and Informatics*, p. 1–4, 2013.

MERATNIA, N.; HAVINGA, P. **Outlier Detection Techniques for Wireless Sensor Networks: A Survey**. IEEE Communications Surveys & Tutorials, v. 12, n. 2, p. 159–170, 2010.

NAKAMURA, E. F.; LOUREIRO, A. A. F.; FRERY, A. C. **Information fusion for wireless sensor networks**. ACM Computing Surveys, v. 39, n. 3, p. 9–es, 2007. doi: < 10.1145/1267070.1267073 >

NAUMOWICZ, T.; FREEMAN, R.; KIRK, H.; DEAN, B.; CALSYN, M.; LIERS, A.; SCHILLER, J. **Wireless Sensor Network for habitat monitoring on Skomer Island**. IEEE Local Computer Network Conference. Denver: IEEE, 2010. doi: < 10.1109/LCN.2010.5735827 >

OLIVEIRA, L. M.; RODRIGUES, J. J. **Wireless Sensor Networks: a Survey on Environmental Monitoring**. Journal of Communications, v. 6, n. 2, p. 143–151, 2011. doi: < 10.4304/jcm.6.2.143-151 >

RANGEL, J.; SEELEY, T. D. **The signals initiating the mass exodus of a honeybee swarm from its nest**. Animal Behaviour, v. 76, n. 6, p. 1943–1952, 2008. doi: < 10.1016/j.anbehav.2008.09.004 >

RITTSCHOF, C. C.; SEELEY, T. D. **The buzz-run: how honeybees signal “Time to go!”**. Animal Behaviour, v. 75, n. 1, p. 189–197, 2008. doi: < 10.1016/j.anbehav.2007.04.026 >

RIBAS, A. D.; COLONNA, J. G.; FIGUEIREDO, C. M. S.; NAKAMURA, E. F. **Similarity Clustering for Data Fusion in Wireless Sensor Networks using k -means**. International Journal of Wireless & Mobile Networks, v. 4, i. 3, p. 183-193, 2012.

SOMBRA, D. DA S. **Monitoramento Do Desenvolvimento De Colônias De Abelhas Africanizadas Sobre A Influência Do Sol E Da Sombra Na Região Semiárida Do Nordeste Brasileiro (Mossoró -Rn)**. [Dissertação] UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI ÁRIDO, 2013.

SOUSA, J. M. B. DE. **Perfil Bromatológico De Mel De Abelha Sem Ferrão Produzido Na Microrregião Do Seridó Do Rio Grande Do Norte**. [Dissertação] UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, 2011. doi: < 10.1590/S1676-06032007000200009 >

STEINBACH, M.; TAN, P.; BAY, M.; KLOOSTER, S.; POTTER, C. **Discovery of Climate Indices using Clustering**. Proceedings of the ninth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, p. 446–455, 2003.

SZEWCZYK, R.; MAINWARING, A.; POLASTRE, J.; ANDERSON, J.; CULLER, D. **An analysis of a large scale habitat monitoring application**. Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems - SenSys '04. New York, New York, USA: ACM Press, 2004. doi: < 10.1145/1031495.1031521 >

VENTURIERI, G. C. **Conservação e Geração de Renda: Meliponicultura entre Agricultores Familiares da Amazônia Oriental**. VII Encontro Sobre Abelhas, 2006.

VIDAL, M. DE F. **Informe Rural Etene: Efeitos da seca de 2012 sobre a apicultura nordestina**. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE. Banco do Nordeste do Brasil S/A, v. n.2, n. ano VII, p. 1–5, 2013.

WERNER-ALLEN, G.; G., LORINCZ, K.; RUIZ, M.; MARCILLO, O.; JOHNSON, J.; LEES, J.; WELSH, M. **Deploying a wireless sensor network on an active volcano**. IEEE Internet Computing, v. 10, n. 2, p. 18–25, 2006. doi: < 10.1109/MIC.2006.26 >

XU, R.; II, D. W. **Survey of Clustering Algorithms**. IEEE Transactions On Neural Networks, v. 16, n. 3, p. 645–678, 2005.

ZACEPINS, A.; KARASHA, T. **Application Of Temperature Measurements For Bee Colony**. Engineering For Rural Development , Jelgava, p. 126–131, 2013.