JUAN CARLOS CONGONA BENAVENTE

MONITORAMENTO AMBIENTAL DE VINHEDOS UTILIZANDO UMA REDE DE SENSORES SEM FIO QUE COLETA DADOS COM UM INTERVALO DE AMOSTRAGEM VARIÁVEL

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

São Paulo
2010

JUAN CARLOS CONGONA BENAVENTE

MONITORAMENTO AMBIENTAL DE VINHEDOS UTILIZANDO UMA REDE DE SENSORES SEM FIO QUE COLETA DADOS COM UM INTERVALO DE AMOSTRAGEM VARIÁVEL

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração:
Sistemas Digitais

Orientador:
Prof. Livre-Docente Carlos Eduardo Cugnasca

São Paulo
2010

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 07 de dezembro de 2010.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Benavente, Juan Carlos Congona

Monitoramento ambiental de vinhedos utilizando uma rede de sensores sem fio que coleta dados com um intervalo de amostragem variável / J.C.C. Benavente. -- ed.rev. -- São Paulo, 2010.

177 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

1. Engenharia de computação 2. Redes de computadores 3. Wireless 4. Análise de desempenho 5. Agricultura de precisão 6. Viticultura 7. Monitoramento ambiental I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais II. t.

Dedico este trabalho à minha família pelo imenso apoio, em especial:
aos meus pais, Rolando e Guadalupe,
aos meus irmãos, Roger e Cinthya,
à minha sobrinha, María José,
à minha avó, Pilar, e
à memória dos meus avós, Gabriel, Guillermo e Jesús.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiro que tudo, por ser quem guia meus passos, pelas oportunidades que colocou na minha vida e pela família que tenho a sorte de possuir.

À minha família por todo o seu apoio, indispensável para superar esta nova etapa na minha vida.

Ao Professor Dr. Carlos Eduardo Cugnasca, meu orientador, por suas valiosas orientações, apoio e amizade.

Ao Dr. Henrique Pessoa dos Santos, pesquisador da Embrapa Uva e Vinho, por possibilitar o estágio nessa prestigiosa instituição, sua amizade e o apoio brindado para a realização do trabalho.

Ao Leonardo Cury da Silva, pelas informações compartilhadas para enriquecer o trabalho, como também o apoio brindado durante minha estadia em Bento Gonçalves.

A todos os meus amigos da Embrapa Uva e Vinho, especialmente, ao pessoal do Laboratório de Fisiologia Vegetal pelos gratos momentos de convivência e o apoio durante a realização dos experimentos em campo.

Ao senhor José Milani e família, que gentilmente proporcionaram o local para realizar os experimentos.

À Embrapa Uva e Vinho pelo apoio logístico para a realização dos experimentos em campo.

À Professora Dra. Cintia Borges Margi, por seus ensinamentos e as sugestões que contribuiram ao desenvolvimento do trabalho.

Ao Dr. Alberto Camilli pelas suas valiosas sugestões, que ajudaram a um melhor desenvolvimento do trabalho.

À Prof. Maria Cristina Vidal Borba pelo apoio nas diferentes revisões dos textos em inglês.

Ao Laboratório de Automação Agrícola, professores e colegas, pelo grato periodo de convivência vivido, as revisões do texto e as sugestões realizadas ao trabalho, especialmente a Bruna, Marcelo, Leandro e Percy.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de mestrado concedida.

Ao CNPq, projeto n° 484125/2006-0, e à FAPESP, projetos nº 03/08134-4 e nº 04/15801-0, pelos recursos fornecidos para o desenvolvimento do trabalho, como também o apoio ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Sistemas Embarcados Críticos (INCT-SEC), projeto 573963/2008-8 (CNPq) e projeto 08/57870-9 (FAPESP).

A todos os amigos que ganhei durante todo este tempo e que, de uma forma ou de outra, contribuiram na realização deste trabalho.

“Nunca diga às pessoas como fazer as coisas. Diga-lhes o que deve ser feito
e elas surpreenderão você com sua engenhosidade.”
George Patton (1885-1945)

RESUMO

BENAVENTE, J. C. C. **Monitoramento ambiental de vinhedos utilizando uma rede de sensores sem fio que coleta dados com um intervalo de amostragem variável.** 2010. 177 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

Neste trabalho foi realizado um estudo de aspectos relacionados ao uso de uma Rede de Sensores sem Fio, como uma tecnologia de apoio para o monitoramento ambiental em vinhedos. Com o intuito de estender o tempo de duração das baterias dos nós sensores dessa rede, procurou-se evitar coletas desnecessárias de dados. O programa aplicativo dos nós foi redefinido para possibilitar a escolha de um intervalo de amostragem próximo das necessidades, sendo essa escolha feita pelos próprios nós, a partir de condições predefinidas no aplicativo. A área de aplicação escolhida foi a viticultura, devido à grande influência das condições ambientais no desenvolvimento fisiológico das videiras, influenciando no rendimento e na qualidade das uvas produzidas, justificando a adoção de um sistema de monitoramento. Uma das características dessas redes que motiva a sua aplicação na área agrícola é a possibilidade de coleta de dados com a resolução espaço-temporal adequada, permitindo aplicar eficientemente os conceitos da Agricultura de Precisão. Realizaram-se experimentos em um parreiral cultivado sob cobertura plástica, localizado em Bento Gonçalves, RS. Os aspectos da rede estudados compreenderam: o alcance de conectividade e qualidade do enlace entre os nós e a estação base; o desempenho da rede com os nós posicionados em diferentes alturas; a exatidão dos dados coletados, em comparação com um equipamento de maior precisão; e a avaliação da variabilidade microclimática dentro do parreiral. A validação da proposta envolveu a implementação de um protótipo funcional, testado em laboratório. O modelo proposto permitiu estimar o tempo de vida dos nós, considerando-se parâmetros como o tipo de bateria, o intervalo de amostragem e o tamanho do pacote de dados enviados pelos nós. Os resultados obtidos evidenciaram a existência de variabilidade microclimática tanto em diferentes alturas da videira, como espacialmente, dentro do parreiral. A interferência dos vegetais devido à água que contêm foi avaliada a partir de dois parâmetros: o indicador de intensidade de sinal recebido e de qualidade de enlace, que indicaram maior interferência na altura do dossel das videiras. A correlação entre esses parâmetros levou à constatação que o melhor desempenho e o maior alcance de conectividade ocorrem com os nós posicionados na altura do cacho das videiras se comparados com as medições realizadas no dossel. A amostragem variável permitiu uma economia no número de pacotes enviados, com menor consumo de energia, o que foi comprovado com o modelo proposto para tal finalidade.

Palavras-chave: Conectividade. Energia. Intervalo de amostragem variável. Qualidade de enlace. Viticultura.

ABSTRACT

BENAVENTE, J. C. C. **Monitoramento ambiental de vinhedos utilizando uma rede de sensores sem fio que coleta dados com um intervalo de amostragem variável.** 2010. 177 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

A study of issues related to using a Wireless Sensor Network was carried out, as an enabling technology for environmental monitoring in vineyards. In order to extend the duration of sensor nodes batteries of the network, collecting unnecessary data was avoided. The nodes application program was redefined to allow the choice of a sampling interval close to the needs, and the choice made by the nodes themselves, based on predefined conditions in their application. The application area chosen was the viticulture because of the large influence of environmental conditions on the physiological development of the vines, influencing the yield and quality of produced grapes, justifying the adoption of a monitoring system. One of the characteristics of such networks that motivates its application in agriculture is the possibility of collecting data with the appropriate spatial and temporal resolution, allowing to efficiently apply the concepts of Precision Agriculture. Experiments were conducted in a vineyard cultivated under plastic overhead cover, situated in Bento Gonçalves, RS. The network aspects studied involved: connectivity range and link quality between nodes and gateway; network performance with nodes positioned at different heights; collected data accuracy, compared with a higher precision equipment; and microclimatic variability evaluation within the vineyard. The proposal validation involved the implementation of a functional prototype, tested in the laboratory. The model allowed estimating the nodes lifetime, considering parameters such as battery type, sampling interval and data packet size sent by sensor nodes. Results showed the existence of microclimatic variability both at different heights of the vine, and spatially within the vineyard. Vegetables interference due to the water contained in them was evaluated from two parameters: Received Signal Strength Indicator and Link Quality Indicator, which indicated greater interference in the height of the vines canopy. The correlation between these parameters led to the conclusion that the best performance and increased connectivity range occur with nodes positioned at the height of the bunch of grapes as compared with measurements made in the canopy. The variable sampling allowed savings in the number of sent packets, with lower power consumption, which agrees with the proposed model for this purpose.

Keywords: Connectivity. Energy. Variable sampling interval. Link quality. Viticulture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de monitoramento (sensores e data logger) instalado no do parreiral experimental, utilizado pela Embrapa Uva e Vinho.....31

Figura 2 - Cultivares de uva de mesa: Niágara Rosada (esquerda, Vitis labrusca), Itália (meio, Vitis vinifera) e BRS Morena (direita, Vitis vinifera).....42

Figura 3 - Enxertia verde. Extraído de Protas (2003).....42

Figura 4 - Sistemas de condução: latada (esquerda) e espaldeira (direita). Extraído de Protas (2003).....43

Figura 5 - Duas doenças fúngicas de grande repercussão na viticultura brasileira. Míldio (esquerda) e podridão do cacho (direita).....45

Figura 6 - Cultivos protegidos de videira, salientando a disposição das coberturas sobre os arcos de sustentação em cada fila de cultivo. Detalhe para a abertura no espaço entre filas para facilitar a circulação do ar e reduzir a temperatura, possibilitando principalmente o efeito “guarda-chuva” e minimizando o efeito “estufa”. Bento Gonçalves, RS. Fotos: Santos (2007).....47

Figura 7 - Parreirais cultivados sob cobertura plástica no Vale dos Vinhedos, Bento Gonçalves, RS.....48

Figura 8 - Dispositivos e topologias de redes ZigBee. Extraído de Kinney (2003). . .52

Figura 9 - Representação da zona de Fresnel. Extraído de Anastasi et al. (2004)....52

Figura 10 - Potência recebida (PRX) em relação à distância (d) (lado esquerdo), RSSI em relação à potência recebida (PRX) (lado direito). Extraído de Grossmann et al. (2007).....55

Figura 11 - Kit básico ēKo Pro Series. Extraído de Memsic (2010).....63

Figura 12 - Plataforma MICAz com placa sensora MTS400 (esquerda) e MTS420 (direita).....67

Figura 13 - Estação base USB MIB520 (esquerda) e MIB520 com plataforma MICAz (direita). 68

Figura 14 - Diagrama de uma rede XMesh. Extraído de Willow Technologies (2010). 68

Figura 15 - Tela para visualizar os dados coletados pelos nós em forma de tabela numérica.....70

Figura 16 - Tela para visualizar os dados coletados pelos nós em forma de gráfico. 71

Figura 17 - Tela para visualizar os dados relacionados ao desempenho da rede.....71

Figura 18 - Tela para visualizar a topologia da rede.....72

Figura 19 - Estrutura de diretórios do TinyOS 1.X. Baseado em Moteworks (2010). 73

Figura 20 - Diagrama de componentes do aplicativo XMTS400.....74

Figura 21 - Diagrama de componentes do aplicativo Pong.....75

Figura 22 - Interface do aplicativo Pong.....76

Figura 23 - Planta da parte superior da sala do LAA.....76

Figura 24 - Sala da parte superior do LAA.....77

Figura 25 - Imagem de satélite do campo experimental no Vale dos Vinhedos, Bento Gonçalves, RS. Extraído de Google Earth (2010).....77

Figura 26 - Área do parreiral experimental no Vale dos Vinhedos, Bento Gonçalves, RS. 78

Figura 27 - Parreiral cultivado sob cobertura plástica no Vale dos Vinhedos, Bento

Gonçalves, RS. 79

Figura 28 - Cultivar Itália no seu período de maturação.....80

Figura 29 - Projeto da Embrapa Uva e Vinho conduzido no parreiral experimental.. 81

Figura 30 - Sensores utilizados no projeto da Embrapa Uva e Vinho: mini tanque classe A e anemômetro (A), medidor de seiva (B), psicrômetro (C), data logger para armazenamento dos dados (D) e, TDR e lisímetro (E). 82

Figura 31 - Arquitetura montada no parreiral para o monitoramento de dados ambientais.....83

Figura 32 - Arquitetura montada no parreiral para avaliar a qualidade do enlace entre o nó e a estação base.....84

Figura 33 - Nós da RSSF e HOBO Pro v2 posicionados dentro da caixa.....85

Figura 34 - Estação base (esquerda) e estação de trabalho (direita) no parreiral.....86

Figura 35 - Indicação das diferentes alturas onde foram posicionados os nós (tronco, cacho e dossel).....88

Figura 36 - Distribuição dos nós da rede no parreiral para ambos os experimentos realizados (no cacho e no dossel das videiras).....89

Figura 37 - Nós posicionados a duas diferentes alturas da videira (dossel e cacho). 90

Figura 38 - Nós posicionados a três diferentes alturas da videira para avaliar a variabilidade microclimática.....91

Figura 39 - Dados de temperatura ambiental coletados pelos nós (sensor Sensirion SHT11) e pelo HOBO Pro v2 durante um período de 96 h ininterruptas.. 94

Figura 40 - Diferença entre os dados de temperatura coletados pelos nós (sensor Sensirion SHT11) e pelo HOBO Pro v2 durante um período de 96 h ininterruptas.....95

Figura 41 - Dados de temperatura ambiental coletados pelos nós (sensor Intersema MS5534AM) e pelo HOBO Pro v2 durante um período de 96 h ininterruptas.....95

Figura 42 - Diferença entre os dados de temperatura coletados pelos nós (sensor Intersema MS5534AM) e pelo HOBO Pro v2 durante um período de 96 h ininterruptas.....96

Figura 43 - Dados de umidade relativa coletados pelos nós (sensor Sensirion SHT11) e pelo HOBO Pro v2 durante um período de 96 h ininterruptas.. 98

Figura 44 - Diferença entre os dados de umidade relativa coletados pelo sensor Sensirion SHT11 dos nós e pelo HOBO Pro v2 durante um período de 96 h ininterruptas.....98

Figura 45 - Alcance de conectividade do sinal (m) entre os nós e a estação base para as diferentes potências de transmissão avaliadas (plataforma MICAz).....101

Figura 46 - Representação gráfica dos valores de RSSI obtidos a diferentes alturas da videira, dependendo da distância entre o nó e a estação base (medições realizadas no sentido da linha das videiras). Valores de RSSI superiores a -87 dBm (linha tracejada) apresentam uma taxa de recepção de pacotes de 85%.....106

Figura 47 - Representação gráfica dos valores de LQI obtidos a diferentes alturas da videira, dependendo da distância entre o nó e a estação base (medições realizadas no sentido da linha das videiras).....107

Figura 48 - Representação gráfica dos valores de RSSI obtidos a diferentes alturas da videira, dependendo da distância entre o nó e a estação base (medições realizadas no sentido perpendicular à linha das videiras). Valores de RSSI superiores a -87 dBm (linha tracejada) apresentam uma taxa de recepção de pacotes de 85%.....109

Figura 49 - Representação gráfica dos valores de LQI obtidos a diferentes alturas da

videira, dependendo da distância entre o nó e a estação base (medições realizadas no sentido perpendicular à linha das videiras).....110

Figura 50 - Valores percentuais dos indicadores utilizados para avaliar o desempenho da rede, com os nós posicionados em duas diferentes alturas (no dossel e no cacho das videiras).....115

Figura 51 - Dados de umidade relativa coletados em três alturas da videira (cacho, dossel e acima do dossel).....116

Figura 52 - Dados de temperatura ambiental coletados em três alturas da videira (cacho, dossel e acima do dossel).....117

Figura 53 - Dados de luminosidade coletados em três diferentes alturas da videira (cacho, dossel e acima do dossel).....118

Figura 54 - Distribuição dos nós no parreiral.....120

Figura 55 - Dados de temperatura no parreiral.....120

Figura 56 - Dados de umidade relativa no parreiral.....121

Figura 57 - Monitoramento ambiental utilizando um intervalo de amostragem variável.....124

Figura 58 - Representação do sistema que permite o monitoramento ambiental de um vinhedo utilizando um intervalo de amostragem variável.....125

Figura 59 - Diagrama de componentes do aplicativo XMTS400 modificado, para coleta de temperatura ambiental e umidade relativa do ar.....126

Figura 60 - Fragmento de código do aplicativo, implementado em NesC, no qual são definidas as variáveis utilizadas (limiares superior, inferior e intervalos de amostragem).....127

Figura 61 - Fragmento de código do aplicativo, no qual são implementadas as regras para realizar a reprogramação do intervalo de amostragem, dependendo

dos limiares predefinidos.....128

Figura 62 - Tela para inicializar a coleta dos dados.....129

Figura 63 - Tela para mudar o intervalo de amostragem dos nós.....129

Figura 64 - Tela para visualizar os dados coletados pelos nós.....130

Figura 65 - Tela para exportar os dados e os health packets, armazenados no banco de dados, para planilhas compatíveis com o Excel.....130

Figura 66 - Tela para realizar a programação remota dos nós.....131

Figura 67 - Tela que mostra a inicialização do nó com a imagem do banco 0 (OTAP). 132

Figura 68 - Tela que mostra o conteúdo dos bancos de memória flash do nó.....132

Figura 69 - Tela que mostra a programação de um dos bancos de memória com uma nova imagem (aplicativo).....133

Figura 70 - Tela que mostra a reinicialização do nó com uma nova imagem (aplicativo).....133

Figura 71 - Topologia montada no laboratório para avaliar o tempo de vida dos nós, para o modo de operação HP.....135

Figura 72 - Topologia montada no laboratório para avaliar o tempo de vida dos nós, para os modos de operação HP e LP. 135

Figura 73 - Distribuição dos nós no parreiral.....136

Figura 74 - Estação base posicionada ao lado da videira (lado esquerdo). Nó localizado na altura do dossel da videira (lado direito). 137

Figura 75 - Perfil de descarga para as baterias avaliadas no modo de operação HP. 138

Figura 76 - Tempo de vida dos quatro nós implantados no laboratório, modo de operação HP.....139

Figura 77 - Perfil de descarga dos nós da RSSF implantada no laboratório com baterias recarregáveis de 2.100 mAh, modo de operação LP.....141

Figura 78 - Distribuição dos nós na sala do LAA.....145

Figura 79 - Temperatura na sala do LAA durante o período de tempo avaliado.....146

Figura 80 - Coleta de dados com amostragem variável.....147

Figura 81 - Porcentagem de pacotes de dados recebidos na estação base a partir de cada nó.....148

Figura 82 - Coleta de dados com intervalo de amostragem variável: 10% com intervalo de amostragem menor e 90% com intervalo de amostragem maior (30 min).....154

Figura 83 - Coleta de dados com intervalo de amostragem variável: 25% com intervalo de amostragem menor e 75% com intervalo de amostragem maior (30 min).....154

Figura 84 - Coleta de dados com intervalo de amostragem variável: 50% com intervalo de amostragem menor e 50% com intervalo de amostragem maior (30 min).....154

Figura 85 - Coleta de dados com intervalo de amostragem variável: 75% com intervalo de amostragem menor e 25% com intervalo de amostragem maior (30 min).....155

Figura 86 - Coleta de dados com intervalo de amostragem variável: 90% com intervalo de amostragem menor e 10% com intervalo de amostragem maior (30 min).....155

Figura 87 - Fases do ciclo produtivo das videiras e condições adotadas para realizar o monitoramento do ambiente.....156

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Necessidade hídrica das principais fases da videira. Extraído de Manica e Pommer (2006).....40

Tabela 2 - Altura recomendada para posicionar os nós, considerando diferentes distâncias de transmissão.....53

Tabela 3 - Distância entre os nós e a estação base.....90

Tabela 4 - Média aritmética e desvio padrão das diferenças dos dados de temperatura coletados pelos nós (sensores Sensirion SHT11 e Intersema MS5534AM) em relação ao HOBO Pro v2.....97

Tabela 5 - Média aritmética e desvio padrão das diferenças entre os dados de umidade relativa coletados pelos nós (sensor Sensirion SHT11) em relação ao HOBO Pro v2.....99

Tabela 6 - Fator de ajuste para atenuar a variabilidade existente entre as placas sensoras dos nós para coleta de temperatura ambiental e umidade relativa do ar.....99

Tabela 7 - Alcance de conectividade do sinal entre a estação base e o nó, considerando as potências de transmissão disponíveis para programar o rádio da plataforma MICAz.....100

Tabela 8 - Corrente consumida pelo transceptor CC2420 em função do nível de saída e da potência de transmissão (CC2420, 2010). 102

Tabela 9 - Níveis referenciais do índice de qualidade de enlace (alto, médio e baixo) e seus valores de correlação associados. Extraído de Roca (2008).....103

Tabela 10 - Valores de RSSI obtidos para os dez nós utilizados, média por nó, média global e desvio da média por nó em relação à média global.....104

Tabela 11 - Valores de LQI obtidos para os dez nós utilizados, média por nó, média

global e desvio da média por nó em relação à média global.....104

Tabela 12 - Valores de RSSI obtidos nas diferentes alturas da videira, dependendo da distância entre o nó e a estação base (medições realizadas no sentido da linha das videiras).....105

Tabela 13 - Valores de LQI obtidos nas diferentes alturas da videira, dependendo da distância entre o nó e a estação base (medições realizadas no sentido da linha das videiras).....107

Tabela 14 - Valores de RSSI obtidos nas diferentes alturas da videira, dependendo da distância entre o nó e a estação base (medições realizadas no sentido perpendicular à linha das videiras).....108

Tabela 15 - Valores de LQI obtidos nas diferentes alturas da videira, dependendo da distância entre o nó e a estação base (medições realizadas no sentido perpendicular à linha das videiras).....109

Tabela 16 - Pacotes de dados enviados, recebidos e perdidos para os dez nós posicionados na altura do dossel das videiras.....113

Tabela 17 - Indicadores de desempenho da rede para os dez nós posicionados na altura do dossel das videiras.....113

Tabela 18 - Pacotes de dados enviados, recebidos e perdidos para os dez nós posicionados na altura do cacho das videiras.....114

Tabela 19 - Indicadores de desempenho da rede para os dez nós posicionados na altura do cacho das videiras.....114

Tabela 20 - Distância entre os nós e a estação base e altura na qual foram posicionados.....136

Tabela 21 - Distância entre os nós e a estação base.....137

Tabela 22 - Tempo de vida de um nó, operando no modo HP, para três diferentes tipos de baterias.....138

Tabela 23 - Tempo de vida dos nós da RSSF implantada no laboratório. Foram utilizadas baterias recarregáveis de 2.100 mAh, com os nós operando no modo HP.....139

Tabela 24 - Perfil de descarga dos nós da RSSF implantada no laboratório com baterias recarregáveis de 2.100 mAh, modo de operação LP.....140

Tabela 25 - Número de pacotes de dados e health packets, recebidos na estação base e retransmitidos, para os quatro nós que constituíram a rede.....140

Tabela 26 - Dados experimentais para os nós da rede implantada no parreiral.....142

Tabela 27 - Dados experimentais para os nós da rede implantada no parreiral.....143

Tabela 28 - Descrição do experimento para avaliar a coleta de dados utilizando um intervalo de amostragem variável.....145

Tabela 29 - Número de pacotes de dados e health packets recebidos na estação base a partir de cada nó.....147

Tabela 30 - Número de pacotes de dados e health packets recebidos na estação base e retransmitidos a partir de cada nó que constitui a rede.....149

Tabela 31 - Consumo de corrente (mAh) para o funcionamento de um nó com um ciclo de trabalho de 1% como período ativo e 99% como período inativo. Extraído de MPR (2010).....150

Tabela 32 - Tempo de vida estimado para diferentes intervalos de amostragem, considerando dois tipos de baterias (2.100 e 2.500 mAh) e dois tamanhos de pacotes de dados (44 e 24 bytes).....151

Tabela 33 - Considerações adotadas para avaliar o monitoramento de um ambiente utilizando um intervalo de amostragem variável.....153

Tabela 34 - Tempo de vida estimado e quantidade de mAh usados para a operação dos nós.....153

Tabela 35 - Consumo (mAh) para as diferentes fases da videira e período de reposição das baterias dos nós.....157

Tabela 36 - Especificações do sensor Sensirion SHT11.....176

Tabela 37 - Especificações do sensor TAOS TSL2550.....177

Tabela 38 - Especificações do sensor Intersema MS5534AM.....177

Tabela 39 - Especificações do acelerômetro ADXL202JE.....177

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	*Analog to Digital Converter*
AP	Agricultura de Precisão
B-MAC	*Berkeley Medium Access Control*
CLIA	Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola
CMOS	*Complementary Metal Oxide Semiconductor*
CONBAP	Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão
CONBEA	Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
CSMA-CA	*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*
DSSS	*Direct Sequence Spread Spectrum*
EEPROM	*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*
ELP	*Extended Low Power*
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
FFD	*Full Function Device*
GPS	*Global Positioning System*
HP	*High Power*
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICPA	International Conference on Precision Agriculture
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
ISM	*Industrial, Scientific and Medical*
LAA	Laboratório de Automação Agrícola
LP	*Low Power*
LQI	*Link Quality Indicator*
MEMS	*Micro-Electro-Mechanical Systems*
MOD	*Mobile Oversight Device*
OQPSK	*Offset Quadrature Phase-Shift Keying*
OTAP	*Over-The-Air-Programming*
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade

pH	Potencial Hidrogeniônico
PHP	Hypertext Preprocessor
PP	Polipropileno
PVC	*Polyvinyl chloride*
RFA	Radiação Fotossinteticamente Ativa
RFD	*Reduced Function Device*
RS	Rio Grande do Sul
RSSF	Rede de Sensores sem Fio
RSSI	*Received Signal Strength Indicator*
SBIAGRO	Associação Brasileira de Agroinformática
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SIG	Sistema de Informação Geográfico
TDR	*Time-Domain Reflectometer*
T-MAC	*Timeout Medium Access Control*
USB	*Universal Serial Bus*
UV	Radiação Ultravioleta
VP	Viticultura de Precisão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....28

1.1 Motivação.....29

1.2 Justificativas.....31

1.3 Objetivos.....33

1.4 Metodologia da pesquisa.....33

1.5 Organização do documento.....34

1.6 Considerações em relação ao texto.....36

2 ASPECTOS RELACIONADOS À VITICULTURA E CULTIVOS PROTEGIDOS…37

2.1 Introdução.....37

2.2 Processo produtivo da uva.....37

2.2.1 Clima.....38

2.2.2 Preparo do solo, calagem e adubação.....41

2.2.3 Porta-enxertos e cultivares.....41

2.2.4 Obtenção e preparo da muda.....42

2.2.5 Sistemas de condução.....43

2.2.6 Poda.....43

2.2.7 Doenças causadas por vírus, bactérias e nematóides.....44

2.2.8 Doenças fúngicas.....44

2.2.9 Maturação e colheita.....45

2.3 Cultivos protegidos.....46

2.3.1 Alterações microclimáticas em cultivos protegidos.....47

2.3.2 Aspecto econômico.....48

2.4 Considerações finais do presente capítulo 49

3 REDES DE SENSORES SEM FIO.....50
3.1 Introdução.....50
3.2 Sistema operacional.....50
3.3 Protocolos de comunicação.....51
3.3.1 Padrão ZigBee.....51
3.4 Métricas de avaliação para RSSFs.....52
3.4.1 Zona de Fresnel.....52
3.4.2 Parâmetros para avaliar a qualidade do enlace de comunicação.....54
3.5 Aplicações agrícolas e ambientais das RSSFs.....56
3.6 Estado de arte da aplicação das RSSFs na viticultura.....57
3.6.1 Trabalhos de pesquisa sobre aplicação das RSSFs em vinhedos.....57
3.6.2 Soluções comerciais para viticultura de precisão.....61
3.7 Considerações finais do presente capítulo 64
4 METODOLOGIA.....65
4.1 Concepção dos experimentos.....65
4.2 Hardware e software utilizados.....66
4.2.1 Hardware utilizado: RSSF experimental.....66
4.2.2 Software utilizado.....68
4.3 Caracterização dos cenários experimentais.....76
4.3.1 Ambiente interno: sala do LAA.....76
4.3.2 Ambiente externo: parreiral cultivado sob cobertura plástica.....77
4.4 Infraestrutura desenvolvida para realizar os experimentos.....82
4.5 Experimentos realizados.....84
4.5.1 Experimento 1: Avaliar a exatidão dos dados coletados pela RSSF em relação a um equipamento de maior precisão.....84
4.5.2 Experimento 2: Alcance de conectividade entre os nós e a estação base 86

4.5.3 Experimento 3: Avaliação da qualidade do enlace entre o nó e a estação base.....87
4.5.4 Experimento 4: Avaliação do desempenho da RSSF no parreiral.....88
4.5.5 Experimento 5: Avaliação da variabilidade microclimática no parreiral....90
4.6 Considerações finais do presente capítulo 92
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....93
5.1 Experimento 1: Avaliar a exatidão dos dados coletados pelos nós da RSSF em relação a um equipamento de maior precisão (HOBO Pro v2).....93
5.1.1 Análise de exatidão entre as placas sensoras (MTS400/MTS420) e o HOBO Pro v2.....93
5.2 Experimento 2: Alcance de conectividade do sinal.....100
5.2.1 Avaliação do experimento realizado.....102
5.3 Experimento 3: Avaliação da qualidade do enlace entre o nó e a estação base 103
5.3.1 Variabilidade entre os nós para coleta de dados de RSSI e LQI sob as mesmas condições.....103
5.3.2 Avaliação da qualidade do enlace entre o nó e a estação base posicionados no sentido da linha das videiras.....105
5.3.3 Avaliação da qualidade do enlace entre o nó e a estação base posicionados no sentido perpendicular à linha das videiras.....108
5.3.4 Avaliação do experimento realizado.....110
5.4 Experimento 4: Avaliação do desempenho da RSSF No parreiral.....112
5.4.1 Resultados do experimento realizado na altura do dossel das videiras. 112
5.4.2 Resultados do experimento realizado na altura do cacho das videiras..114
5.4.3 Avaliação do experimento realizado.....115
5.5 Experimento 5: Avaliação da variabilidade microclimática no parreiral.....116
5.5.1 Variabilidade microclimática em diferentes alturas da videira.....116
5.5.2 Variabilidade espacial no parreiral.....119

5.6 Considerações finais do presente capítulo.....121

6 MONITORAMENTO AMBIENTAL POR MEIO DE UM INTERVALO DE AMOSTRAGEM VARIÁVEL.....123

6.1 Descrição da proposta 123

6.2 Sistema de monitoramento ambiental 125

6.3 Modificações realizadas no aplicativo dos nós.....126

6.3.1 Modificações realizadas no aplicativo XMTS400.....126

6.3.2 Regras implementadas no código para realizar a amostragem diferenciada.....127

6.4 Descrição da ferramenta desenvolvida.....128

6.5 Programação remota.....131

6.6 Avaliação do tempo de vida dos nós.....134

6.6.1 Descrição dos experimentos.....134

6.6.2 Resultados experimentais.....137

6.7 Avaliação da coleta de dados utilizando um intervalo de amostragem variável 144

6.7.1 Configuração experimental.....144

6.7.2 Resultados experimentais.....146

6.8 Estudo de caso.....155

6.9 Discussões.....157

6.10 Considerações finais do presente capítulo.....159

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....160

7.1 Conclusões.....160

7.2 Contribuições.....163

7.3 Dificuldades encontradas.....164

7.4 Perspectivas e trabalhos futuros.....165

7.5 Encerramento.....167

REFERÊNCIAS.....168

ANEXO A – DETALHES TÉCNICOS DA RSSF UTILIZADA.....176

A.1 Sensores de temperatura e umidade relativa (Sensirion SHT11).....176

A.2 Sensor de luminosidade (Taos TSL2550).....176

A.3 Sensor de temperatura e pressão atmosférica (Intersema MS5534AM).....177

A.4 Acelerômetro (ADXL202JE).....177

1 INTRODUÇÃO

A Agricultura de Precisão (AP) é uma filosofia de trabalho, difere da agricultura tradicional no sentido de dividir o terreno em parcelas para tratá-lo diferenciadamente, proporcionando vantagens econômicas para o agricultor e benefícios ao meio ambiente (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002; ZHANG; WANG; WANG, 2002). A aplicação desta filosofia é possível, principalmente, pelo uso de três tecnologias: o Sistema de Posicionamento Global (GPS), os Sistemas de Informação Geográficos (SIGs) e a área de sensoriamento (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002).

O advento de uma nova tecnologia, conhecida como Rede de Sensores sem Fio (RSSF), inicialmente utilizada para fins militares (AKYILDIZ et al., 2002), é atualmente empregada nas mais diversas áreas, como: agricultura (WANG; ZHANG; WANG, 2006), ecologia (PORTER et al., 2005), medicina (TRIANTAFYLLIDIS et al., 2008), civil (KIM et al., 2007), transporte (CHINRUNGRUENG; SUNANTACHAIKUL; TRIAMLUMLERD, 2007). Essa tecnologia está tornando possíveis aplicações que não podiam ser realizadas por meio do uso de tecnologia convencional (HAYES et al., 2008; WERNER-ALLEN et al., 2005). Define-se uma RSSF como um conjunto de dispositivos, chamados de nós sensores (ou apenas nós[1]), com capacidades de sensoreamento, processamento e comunicação, sendo possível o monitoramento do ambiente onde eles são implantados (YICK; MUKHERJEE; GHOSAL, 2008).

No entorno agrícola, sabe-se da importância do clima e sua influência no desenvolvimento fenológico de uma cultura (PROTAS, 2003). Para o caso das videiras cultivadas sob cobertura plástica, o microclima experimenta diferentes alterações, que influenciam na fisiologia da planta (CHAVARRIA et al., 2009). A variabilidade espacial em uma cultura agrícola, com relação às condições climáticas, do solo e das plantas (BENAVENTE et al., 2009a; MOLIN, 1997; ZHANG; WANG; WANG, 2002) precisa da utilização de novas tecnologias que permitam o seu melhor gerenciamento, aplicando-se os conceitos da AP. A importância de se aplicar as Redes de Sensores sem Fio (RSSFs) na agricultura está na capacidade de poder monitorar as culturas agrícolas, considerando a variabilidade espaço-temporal

---

1 Neste trabalho, por simplicidade, o termo nó será utilizado para designar um nó sensor.

existente (WANG; ZHANG; WANG, 2006).

O uso das RSSFs na área vitivinícola é cada vez maior, tendência que é refletida no aumento de trabalhos de pesquisa (BURRELL; BROOKE; BECKWITH, 2004; MARINO et al., 2008; MORAIS et al., 2008), como também soluções comerciais[2]. Dentre as vantagens percebidas da aplicação das RSSFs em vinhedos, destaca-se, o auxílio no gerenciamento da variabilidade microclimática, permitindo ao agricultor atuar proativamente sobre possíveis problemas que pudessem afetar à cultura, tais como condições favoráveis de temperatura e umidade relativa para o estabelecimento de doenças fúngicas. As RSSFs também podem ajudar no gerenciamento da irrigação das videiras, considerando a variabilidade espaço-temporal da umidade do solo. A possibilidade de poder acompanhar esta variável em tempo real permitirá aplicar a água suficiente, dependendo das necessidades hídricas da planta (YUNSEOP; EVANS; IVERSEN, 2008).

A adoção das RSSFs na viticultura brasileira será de grande importância, de forma a se obter as vantagens que oferece o seu uso. O trabalho realizado descreve a avaliação prática de uma RSSF experimental, disponível no Laboratório de Automação Agrícola (LAA), em um parreiral[3] cultivado sob cobertura plástica (localizado no Vale dos Vinhedos, Bento Gonçalves, RS). Neste trabalho também propõe-se e testa-se a estratégia de realizar a coleta de dados utilizando um intervalo de amostragem variável, que seja reconfigurado automaticamente pelos nós da rede, com o intuito de economizar energia e aumentar a autonomia do monitoramento.

1.1 MOTIVAÇÃO

A possibilidade de contar com uma RSSF experimental no do laboratório levou à escolha de um tema que permitisse: um maior aprofundamento e compreensão das RSSFs, a sua avaliação em um ambiente agrícola, como uma

---

2 No item 3.6 são apresentados os trabalhos de pesquisa relacionados ao uso das RSSFs em vinhedos, como também soluções comerciais desenvolvidas para viticultura de precisão.

3 Popularmente adota-se chamar de “parreiral” quando a área é de cultivo de uva de mesa ou para produção de suco e “vinhedo” quando a área for de cultivo de uvas para processamento de vinho fino.

ferramenta de monitoramento ambiental, e uma proposta que contribua na otimização do consumo de energia evitando um armazenamento desnecessário de dados.

Das aplicações das RSSFs na agricultura, percebeu-se que a viticultura é a área na qual concentra-se a maior quantidade de trabalhos de pesquisa, também foi percebido o interesse de empresas que vêm apostando nesta área, com soluções comerciais, tais como: MEMSIC[4] (MEMSIC, 2010), Grape Networks (GRAPE NETWORKS, 2010) e Netsens s.r.l. (NETSENS, 2010). Uma das razões para se aplicar as RSSFs na viticultura é a possibilidade de monitorar os vinhedos, considerando a variabilidade espaço-temporal existente. A capacidade de se gerenciar essa variabilidade permite adotar práticas agrícolas, procurando reduzir o uso de fungicidas, por ser aplicada a quantidade necessária no momento oportuno, e uma irrigação baseada nas necessidades da planta, conseguindo economizar água, um recurso que se torna cada vez mais escasso.

A oportunidade de realizar um estágio na Embrapa Uva e Vinho, em Bento Gonçalves-RS, por meio do contato conseguido com o Dr. Henrique Pessoa dos Santos, pesquisador do Laboratório de Fisiologia Vegetal, permitiu avaliar a RSSF experimental em um ambiente agrícola (parreiral cultivado sob cobertura plástica). Dos experimentos realizados, obteve-se informações que, além de complementar a proposta do trabalho, podem servir como referência para trabalhos posteriores, procurando melhorar o desempenho da rede, a partir da análise de conectividade entre os nós e a estação base em campo, como também a incorporação de novos sensores.

Um dos primeiros trabalhos desenvolvidos no grupo de pesquisa do LAA, envolvendo as RSSFs e a sua aplicação em ambientes agrícolas, foi o realizado por Camilli et al. (2007). No seu trabalho, descreve-se uma aplicação simulada das RSSFs para aquisição intensiva de dados em um campo, sendo os dados reunidos em um ponto coletor no qual pode ser realizada uma estimativa das propriedades do campo. A incorporação das RSSFs em novos domínios como polinizadores, casas de vegetação ou até em outras culturas agrícolas é também de interesse no grupo de pesquisa do LAA. Algumas destas iniciativas já foram consideradas em Benavente et al. (2009a), Benavente et al. (2009b), Gonda e Cugnasca (2006), e

---

4 A linha de sensores sem fio da Crossbow Technology Inc. foi adquirida pela MEMSIC em Janeiro de 2010.

Najm et al. (2009). Outros trabalhos no grupo de pesquisa envolvem a integração das RSSFs com Data Warehouse para monitoramento de polinizadores (COSTA; CUGNASCA, 2010), realizando um processamento ágil dos dados para uma melhor tomada de decisões, ou a interconexão entre os protocolos de rede ZigBee e ISOBUS[5] (BARROS; CUGNASCA, 2010), para simplificar o processo de aplicação da agricultura de precisão, possibilitando que os dados coletados pelos nós sejam processados nos veículos agrícolas. Esses diferentes trabalhos demonstram o interesse do grupo de pesquisa do LAA na consolidação das RSSFs como parte da agricultura brasileira.

1.2 JUSTIFICATIVAS

A tecnologia de monitoramento que vem sendo utilizada pela Embrapa Uva e Vinho, nos seus trabalhos de pesquisa, são sensores conectados a *data loggers* por meio de cabos (CHAVARRIA et al., 2009; COMIRAN, 2009). Esses sensores permitem o monitoramento de diferentes variáveis no vinhedo/parreiral, relacionadas ao ambiente, solo e plantas. Contudo, esse sistema tem desvantagens se comparado a uma tecnologia sem fio, principalmente pelas limitações impostas pelo cabeamento que deve ser realizado, por exemplo, o que justifica a avaliação do uso das RSSFs em um vinhedo/parreiral. Na Figura 1 é mostrado o sistema de monitoramento utilizado pela Embrapa Uva e Vinho.

Figura 1 - Sistema de monitoramento (sensores e *data logger*) instalado no do parreiral experimental, utilizado pela Embrapa Uva e Vinho.

5 ISOBUS é o nome popular da norma ISO11783, que padroniza a comunicação entre um veículo agrícola e seus implementos (BARROS; CUGNASCA, 2009).

A possibilidade de conduzir os experimentos em um parreiral cultivado sob cobertura plástica permitiu estudar a RSSF experimental, disponível no laboratório, sem a ocorrência de riscos que possam danificá-la (chuvas, por exemplo). Da revisão dos trabalhos correlatos, observou-se a falta de informações do uso da plataforma MICAz em vinhedos/parreirais. Portanto, isto se apresenta como uma justificativa adicional para avaliá-la como uma ferramenta de monitoramento ambiental, esperando-se obter dados que possam ser considerados como referência para pesquisas futuras, além de complementar a proposta do trabalho, de se realizar o monitoramento ambiental utilizando um intervalo de amostragem variável.

Uma RSSF tem características particulares, dando-se ênfase, por exemplo, à energia disponível para o funcionamento dos nós. Geralmente, estes nós são alimentados por baterias, o que faz da energia um recurso limitado, condicionando o tempo de vida ou autonomia da rede (ROUNDY et al., 2004). Comparando-se a energia consumida pelos diferentes módulos do nó (sensoriamento, processamento e comunicação) para o envio de um pacote de dados, o módulo de comunicação é o principal responsável pelo consumo de energia, seguido do módulo de sensoriamento (ANASTASI et al., 2009a).

Na tentativa de otimizar o consumo de energia, procurando estender o tempo de vida dos nós, de forma que seja possível o monitoramento das condições ambientais no vinhedo/parreiral com a menor quantidade de vezes de reposição das baterias dos nós, considerando que o ciclo vegetativo/produtivo das videiras é longo (sete meses, aproximadamente), procurou-se dar uma contribuição para estender o tempo de vida dos nós. Assim, avaliou-se a configuração de coleta de dados realizada por meio de um intervalo de amostragem variável, reconfigurado automaticamente a partir de condições predefinidas no aplicativo[6] dos nós.

Uma iniciativa para solucionar o problema de energia, observada nos trabalhos de pesquisa relacionados, compreende o funcionamento dos nós com energia colhida do ambiente (por exemplo, células solares) (MORAIS et al., 2008), porém ela precisa de hardware adicional, resultando em um custo adicional. Neste trabalho, foi pensada uma solução ao problema da energia a partir de modificações realizadas no aplicativo utilizado pelos nós.

---

6 Aplicativo é o programa instalado nos nós para o seu funcionamento.

1.3 OBJETIVOS

Destaca-se como objetivo geral avaliar os aspectos relacionados ao uso de uma RSSF em um parreiral cultivado sob cobertura plástica, para possibilitar o seu monitoramento microclimático, propondo-se que a coleta dos dados seja realizada com um intervalo de amostragem variável para estender o tempo de vida dos nós que constituem a RSSF.

Como objetivos específicos, têm-se:

- estimar o tempo de vida dos nós, a partir dos experimentos realizados e de um modelo proposto para tal finalidade;
- avaliar a qualidade do enlace e o alcance de conectividade entre os nós e a estação base, conforme posicionados no parreiral, considerando a interferência produzida pelos fatores existentes no ambiente estudado (tronco, cacho e dossel das videiras, relevo do terreno);
- avaliar a exatidão dos dados coletados pelos nós, comparados com um equipamento de maior precisão, para determinar a variabilidade existente entre as diferentes placas sensoras utilizadas;
- validar a proposta do trabalho, de realizar a coleta de dados com a RSSF utilizando um intervalo de amostragem variável, por meio da implementação de um protótipo funcional;
- comparar as duas formas de amostragem de coleta de dados (intervalo fixo e variável) experimentalmente, analisando as vantagens da abordagem proposta (consumo de energia, armazenamento de dados).

1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Inicialmente, realizou-se um levantamento bibliográfico, sendo considerados tópicos referentes a viticultura, cultivos protegidos e RSSFs. Do processo produtivo

das uvas, foi de interesse obter um conhecimento geral em relação aos tratos culturais e, principalmente, a influência do clima no processo fenológico das videiras. Com respeito às RSSFs, levantaram-se tópicos de conceitos gerais, protocolos de comunicação, sistema operacional, bem como aplicações desta tecnologia na área agrícola, dando ênfase aos trabalhos encontrados na viticultura. Para esta etapa foram considerados: livros, artigos científicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado e sites de internet, assim como outras informações obtidas durante o período de estadia em Bento Gonçalves (jornais, comunicação pessoal, visitas a campo). Este levantamento bibliográfico permitiu obter o embasamento teórico necessário para o desenvolvimento do trabalho.

O acompanhamento de diferentes experimentos em ambientes agrícolas (milharal, cafezal), projetados pelo grupo de pesquisa do LAA, permitiram conhecer o funcionamento das RSSFs de uma forma prática. A rede experimental existente no laboratório, comercializada pela MEMSIC e projetada com fins de pesquisa, é constituída por nós MICAz com placa sensora MTS400/MTS420 e uma estação base[7] MIB520. Para programar os nós da rede, testar os aplicativos a serem utilizados nos experimentos, assim como desenvolver o protótipo para validar a proposta, foi montada uma estação de trabalho no laboratório com o software necessário para esta finalidade.

A possibilidade de realizar um estágio durante um mês, entre janeiro e fevereiro de 2010, na Embrapa Uva e Vinho, em Bento Gonçalves-RS, permitiu conduzir os experimentos planejados a campo, com o intuito de que os dados obtidos complementem a proposta do trabalho e sirvam de referência para trabalhos futuros que possam ser realizados com a RSSF em ambientes agrícolas.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

O texto está dividido em sete capítulos e um anexo, apresentados a seguir:

Neste primeiro capítulo são descritos o texto introdutório para contextualizar

7 A estação base é o dispositivo que permite transmitir os dados coletados pelos nós ao computador, explica-se com maior detalhe no Capítulo 3.

o trabalho, a motivação e as justificativas que levaram à escolha do tema, os objetivos propostos, a metodologia para o desenvolvimento da pesquisa, e aspectos a serem considerados na leitura do texto.

No Capítulo 2 apresentam-se tópicos relacionados à viticultura, considerando a influência do clima no desenvolvimento das videiras, tratos culturais associados e cultivos protegidos; justificando a importância de se avaliar melhor essas culturas.

No Capítulo 3 são expostos aspectos referentes às RSSFs: sistema operacional, protocolos, métricas para avaliar o desempenho da rede; considera-se também, um item para descrever os trabalhos correlatos e as soluções comerciais existentes em relação à aplicação das RSSFs na área agrícola, especialmente, na viticultura.

No Capítulo 4 descreve-se a metodologia utilizada para conduzir os experimentos em campo, em concordância com os objetivos propostos. Destacam-se a arquitetura desenvolvida, o hardware e software utilizados, os cenários experimentais: interno (sala do LAA da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo) e externo (parreiral cultivado sob cobertura plástica, no Vale dos Vinhedos, Bento Gonçalves, RS). Descrevem-se também, os experimentos realizados em ambos os cenários.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados e as discussões para os experimentos realizados tanto no cenário interno como externo.

No Capítulo 6 apresenta-se a proposta do trabalho para economizar energia, que consiste na coleta de dados utilizando um intervalo de amostragem variável. É descrito o sistema de monitoramento ambiental, o protótipo desenvolvido para validar a proposta, os experimentos realizados e os resultados obtidos para demonstrar as vantagens da proposta.

No Capítulo 7 são apresentadas as conclusões alcançadas e as contribuições dadas com o desenvolvimento da pesquisa, bem como as dificuldades encontradas e os trabalhos futuros propostos para complementar o trabalho.

Finalmente, no Anexo A, detalham-se informações técnicas complementares à RSSF utilizada (especificações dos sensores da placa MTS400/MTS420).

1.6 CONSIDERAÇÕES EM RELAÇÃO AO TEXTO

Foram considerados os seguintes critérios em relação ao texto:

- diferenciar as siglas em singular e em plural, por exemplo: Rede de Sensores sem Fio foi definida como RSSF enquanto Redes de Sensores sem Fio como RSSFs;
- a definição relativa à sigla utilizada foi repetida na primeira aparição de cada capítulo;
- as fotografias apresentadas no texto, salvo informação contrária e descritas nas legendas das próprias figuras, foram tiradas pelo autor.

2 ASPECTOS RELACIONADOS À VITICULTURA E CULTIVOS PROTEGIDOS

2.1 INTRODUÇÃO

A uva pertence ao gênero *Vitis*, que inclui variedades para consumo como fruta fresca ou seca e na forma de vinhos, destilados, sucos e outros derivados como as geléias. No Brasil são cultivadas variedades da espécie *Vitis vinifera*, originárias da Europa, e também variedades oriundas dos Estados Unidos, chamadas uvas americanas, pertencentes à espécie *Vitis labrusca* (NACHTIGAL; MAZZAROLO, 2008).

Em 2009, o Brasil produziu 1.345.721 toneladas de uvas em uma área de 79.046 hectares, conseguindo um rendimento médio de 17.025 kg/ha (IBGE, 2010). Em relação à posição da viticultura brasileira no mundo, para o ano 2007, o Brasil foi 21º em área cultivada, 14º em produção, 9º em valor das exportações de uvas e 8º em valor das exportações de suco de uvas. Estima-se o consumo per capita de uva de mesa no Brasil em 3,50 kg, sendo os maiores consumidores mundiais a Eslovênia, com 42,70 kg, a Macedônia, com 28,47 kg, e a Albânia, com 25,50 kg. O consumo per capita anual de sucos ainda considera-se baixo (0,68 L), assim como o de vinhos, em menos de 2 L (NACHTIGAL; MAZZAROLO, 2008).

2.2 PROCESSO PRODUTIVO DA UVA

Neste item são apresentadas informações relacionadas ao processo produtivo da uva vinífera e à importância do clima no desenvolvimento das videiras. Estas informações estão baseadas em Manica e Pommer (2006) e Protas (2003).

2.2.1 Clima

O clima é um fator importante na produção das uvas, possuindo forte influência sobre a videira. São considerados três conceitos para diferenciá-lo:

- **macroclima:** corresponde ao clima médio de um território, é caracterizado a partir de dados tomados de um conjunto de estações meteorológicas;
- **mesoclima:** pode ser caracterizado considerando os dados de uma estação meteorológica. A orografia[8] constitui um critério de identificação, por exemplo, o clima de um vale;
- **microclima:** correspondente ao clima de uma superfície pequena, consideram-se dois tipos: microclima natural e microclima da planta.

2.2.1.1 Elementos meteorológicos do clima

2.2.1.1.1 Temperatura

Apresenta diferentes efeitos sobre a videira, dependentes de sua etapa fenológica:

- **temperaturas de inverno:** a videira apresenta resistência às baixas temperaturas de inverno. Enquanto está em período de repouso, consegue suportar temperaturas mínimas de até -10 °C a -20 °C. O frio de inverno é importante para a quebra de dormência das gemas, garantindo uma brotação adequada;
- **temperaturas de primavera:** considera-se uma temperatura de 10 °C como mínima para o desenvolvimento vegetativo da planta. Enquanto ocorre a brotação das videiras, temperaturas baixas podem ocasionar geadas tardias, destruindo seus órgãos herbáceos. Durante o período de floração das videiras são favoráveis temperaturas iguais ou superiores a 18 °C, sendo melhor quando estiverem associadas a dias com bastante insolação e pouca umidade;

---

8 A orografia é uma parte da geografia e refere-se ao estudo das nuances do relevo de uma região.

- **temperaturas de verão:** entre os 20 ºC e 25 ºC acontece a maior atividade fotossintética. Na estação de verão, que coincide com o período de maturação das uvas, prefere-se temperaturas não muito quentes, que possibilitem um período de maturação lento, favorecendo à qualidade das uvas;
- **temperaturas de outono:** afetam a duração do ciclo vegetativo da videira, sendo importante para o acúmulo de reservas na planta. Nesta época, temperaturas abaixo de 10 °C induzem a senescência foliar[9] e o início do estado de dormência das gemas. Portanto, outonos com atrasos nas temperaturas baixas (< 10 °C) proporcionam um período maior de atividade foliar e, consequente, acúmulo de reservas de carbono para o próximo ciclo vegetativo/produtivo.

2.2.1.1.2 Insolação e radiação solar

A videira requer uma elevada insolação durante o seu período vegetativo/produtivo, em conjunto com temperaturas amenas (20 a 25 °C) durante o dia. As uvas produzidas nestas condições apresentam maiores níveis de maturação, com teores equilibrados de açúcares e acidez total. No entanto, a elevada insolação em conjunto com excesso de calor (temperaturas > 25 °C) tendem a ser prejudiciais para a produção de uvas, principalmente às destinadas para produção de vinhos finos, pois os mostos resultantes destas uvas apresentam baixa acidez. Para contornar esse fator, em condições tropicais, normalmente é necessário o ajuste da acidez do mosto com a adição de ácidos orgânicos de origem vitícola ou o plantio de cultivares que toleram maiores temperaturas sem muitas interferências na qualidade organoléptica do vinho.

2.2.1.1.3 Pluviometria

A videira adapta-se desde zonas nas quais o regime pluviométrico não ultrapassa 200 mm até zonas com mais de 1.000 mm anuais. Portanto, a precipitação pluviométrica vem a ser um dos elementos mais importantes do clima

---

9 Senescência foliar é o processo natural de envelhecimento das folhas da videira.

na viticultura. A demanda hídrica da videira varia em função das diferentes fases do seu ciclo vegetativo. Na Tabela 1 são apresentadas as necessidades hídricas das principais fases da videira.

Tabela 1 - Necessidade hídrica das principais fases da videira. Extraído de Manica e Pommer (2006).

Fases da videira	Necessidade hídrica (mm)
Brotação até início da floração	94
Floração até fecundação	25
Fecundação até início do amadurecimento	135
Início do amadurecimento até maturação	130
Brotação até maturação	**384**

As chuvas de inverno têm importância para as reservas hídricas do solo, sendo necessárias para o início do ciclo vegetativo da videira. Na primavera, as chuvas são importantes para o desenvolvimento da planta, porém em excesso, favorecem a ocorrência de doenças fúngicas. Nas condições climáticas do sul do Brasil, caracterizam-se os excedentes hídricos nas principais regiões vitícolas (Bento Gonçalves-RS, por exemplo, tem uma precipitação média anual de 1.604 mm). Em períodos chuvosos, durante a fase de maturação das uvas, os viticultores adotam a prática de colher antecipadamente as uvas. Este procedimento é adotado para evitar a perda total causada por podridões do cacho, porém restringe a qualidade das uvas destinadas à agroindústria. A ocorrência de granizo também é um fenômeno a considerar na viticultura, sendo os maiores danos causados no ciclo vegetativo/produtivo (da brotação à colheita das uvas).

2.2.1.1.4 Umidade relativa do ar

É de grande importância para a viticultura, condições de umidade elevada favorecem a presença de doenças fúngicas, dentre elas o míldio (*Plasmopara viticola*).

2.2.1.1.5 Ventos

Repercutem sobre as condições meteorológicas, com implicações na temperatura, umidade e evapotranspiração do vinhedo. Ventos fortes podem

danificar a vegetação, com quebra dos brotos novos ou até dos ramos, reduzindo a produção. Adotam-se medidas para atenuar os problemas ocasionados pelos ventos, dentre elas, o uso de quebra-ventos (árvores dispostos em direção vertical ao vento).

2.2.2 Preparo do solo, calagem e adubação

2.2.2.1 Preparo do solo

Envolve práticas de manejo do solo que objetivam garantir o normal desenvolvimento das videiras. Consta das operações de roçagem (eliminação da vegetação existente), destocamento, lavração, gradagem (ou nivelamento do terreno) e preparo das covas.

2.2.2.2 Calagem

Aplicação de calcário para corrigir a acidez do solo. Em condições ideais, o pH do solo para o cultivo da videira deve estar próximo de 6,0.

2.2.2.3 Adubação

São realizados três tipos de adubação: de correção, para corrigir possíveis carências nutricionais do solo antes do plantio; de plantio ou crescimento, para fornecer nitrogênio às videiras durante os primeiros três anos após a implantação no local definitivo; e de manutenção, para repor os nutrientes que a videira precisa anualmente, considerando que os mesmos são retirados da área de cultivo pela colheita da uva.

2.2.3 Porta-enxertos e cultivares

Devido à alta sensibilidade da espécie *Vitis vinifera* à filoxera, no Rio Grande do Sul é recomendado o uso da enxertia. Um tipo de porta-enxerto, com grande difusão nas zonas vitícolas da Região Sul, é o Paulsen 1103. Em relação às cultivares, na Região Sul vem-se cultivando mais de setenta castas da espécie *Vitis*

vinifera procedentes, principalmente, da Itália e da França. Na Figura 2 são mostradas três cultivares de uva de mesa (Niágara Rosada, Itália e BRS Morena).

Figura 2 - Cultivares de uva de mesa: Niágara Rosada (esquerda, *Vitis labrusca*), Itália (meio, *Vitis vinifera*) e BRS Morena (direita, *Vitis vinifera*).

2.2.4 Obtenção e preparo da muda

Para o caso das espécies *Vitis vinifera, Vitis labrusca* e híbridas, as mudas podem ser adquiridas de viveiristas ou preparadas na propriedade por meio da enxertia. Em relação a esta técnica, a prática mais utilizada no Brasil é a enxertia de garfagem no campo, na qual as mudas são preparadas no local definitivo. Esta prática consiste em realizar a enxertia um ano após o plantio do porta-enxerto, também é conhecida como enxertia de inverno. Existe outro tipo de enxertia, chamada enxertia verde, a qual é efetuada durante o período vegetativo da videira e é recomendada para repor falhas da enxertia de inverno (Figura 3).

Figura 3 - Enxertia verde. Extraído de Protas (2003).

2.2.5 Sistemas de condução

O sistema de condução representa a estrutura de suporte para a videira e é constituído por postes e arames distribuídos espacialmente no vinhedo/parreiral. Sua finalidade principal é suportar o crescimento de ramos, folhas e frutos ao longo de cada ciclo da videira. Para a produção de uva são abordados, principalmente, dois tipos de sistemas de condução: 1) latada, nesse sistema, a estrutura vegetativa fica em forma horizontal e a zona de produção situa-se, aproximadamente, a 1,80 m do solo; e, 2) espaldeira, no qual, o dossel vegetativo fica disposto verticalmente com a zona de produção entre 1,0 e 1,20 m do solo. A Figura 4 apresenta um esquema desses dois tipos de sistemas de condução.

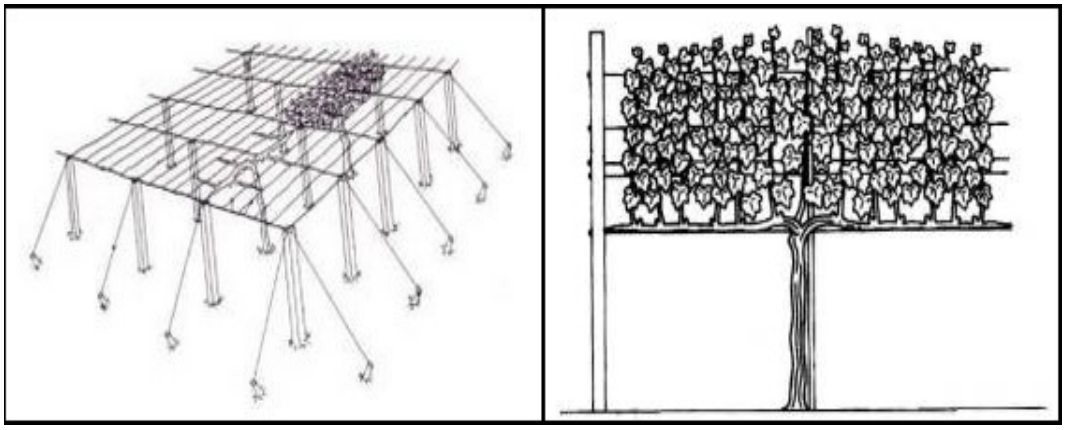


Figura 4 - Sistemas de condução: latada (esquerda) e espaldeira (direita). Extraído de Protas (2003).

2.2.6 Poda

Consiste na supressão parcial do sistema vegetativo lenhoso ou herbáceo e tem por finalidade a obtenção de um equilíbrio entre o crescimento vegetativo e produtivo da planta de videira. Sem esse procedimento anual, a videira tende a crescer desordenadamente e reduz a produção proporcionalmente ao volume de ramos e folhas. Podem-se distinguir dois tipos de poda: 1) poda seca, ou poda de inverno, na qual se retira todos os ramos que cresceram no ciclo anterior deixando-se a mesma carga (nº) de gemas potencialmente férteis por planta; e 2) poda verde, que é realizada durante o período vegetativo da videira e tem a finalidade de proporcionar a organização do dossel vegetativo sobre o sistema de sustentação,

favorecendo as condições microclimáticas do parreiral.

2.2.7 Doenças causadas por vírus, bactérias e nematóides

2.2.7.1 Doenças causadas por vírus

Atualmente são conhecidas cerca de cinquenta doenças causadas por vírus, sendo o tipo de propagação vegetativo da videira o principal fator de disseminação deste tipo de doença. Dentre as principais, destacam-se as seguintes: vírus do enrolamento das folhas, do lenho rugoso, da degenerescência e da mancha e necrose das nervuras.

2.2.7.2 Doenças causadas por bactérias

Duas doenças bacterianas, com ocorrência no Brasil, são as galhas da coroa e o cancro bacteriano. Estas são doenças quarentenárias[10] e estão restritas à região nordeste do país.

2.2.7.3 Doenças causadas por nematóides

Até o momento foram relatados nove gêneros de nematóides, os quais são vermes[11] cilíndricos que parasitam o sistema radicular, ocasionando alterações morfológicas e fisiológicas. As plantas com ataque de nematóides apresentam sintomas de estresse e deficiência nutricional.

2.2.8 Doenças fúngicas

Elementos meteorológicos como a temperatura e a umidade relativa, em determinadas circunstâncias, contribuem para o desenvolvimento de fungos na videira e, se não controlados devidamente, podem ocasionar graves prejuízos na

---

10 As doenças quarentenárias são doenças de grande transmissibilidade, em geral graves, que requerem isolamento rigoroso, com o intuito de evitar a sua introdução em regiões até então indenes. Entre as doenças quarentenárias, que o Brasil é livre, encontra-se a doença bacteriana denominada de “Mal de Pierce” (SANTOS, 2010a).

11 Vermes são os invertebrados não pertencentes ao grupo dos artrópodes, isto é, os animais desprovidos de esqueleto interno ou externo (SANTOS, 2010a).

produção. O míldio (*Plasmopara viticola*) é a principal doença fúngica que ataca à videira na região sul do Brasil (principal região vitícola nacional) e pode afetar todos os órgãos verdes da planta (folhas, flores, gavinhas, gemas, bagas – antes da maturação – e ramos não maduros), causando maior dano quando afeta as flores e os frutos.

Dentre outras doenças fúngicas que podem ser citadas estão: o oídio, a antracnose, a fusariose e a podridão do cacho. Na Figura 5 são apresentadas fotografias de duas doenças fúngicas de grande repercussão na viticultura brasileira (míldio e podridão do cacho).

Figura 5 - Duas doenças fúngicas de grande repercussão na viticultura brasileira. Míldio (esquerda) e podridão do cacho (direita).

2.2.9 Maturação e colheita

Considerando que a uva é uma fruta não climatérica (não amadurece após colhida), a determinação da evolução da maturação e o ponto ideal de colheita é um procedimento importante para se incrementar a qualidade da uva tanto para mesa como para beneficiamento. Portanto, deve-se realizar um acompanhamento frequente e constante ao longo do período de maturação das uvas até os índices de açúcares (°Brix, por exemplo) e acidez se estabilizarem, sem comprometimento fitossanitário.

A maturação compreende o período de tempo entre a mudança de cor das bagas (início) até a data da colheita. Na maturação ocorre um aumento no teor dos pigmentos antociânicos (nas variedades tintas) e de açúcares (glicose e frutose), assim como uma diminuição pronunciada da acidez. Em regiões de verão e outono secos pode ocorrer também a sobrematuração, a qual é caracterizada pelo

dessecamento da uva.

Pela importância na definição da qualidade da uva (para processamento ou consumo *in natura*), é necessário um controle completo da evolução da maturação, registrando em amostragens frequentes de uvas os teores de açúcares e ácidos. No caso de uvas para processamento, pode-se acrescentar o acompanhamento de taninos, antocianinas e aromas, para se obter uma melhor caracterização da qualidade enológica e do ponto/data ideal para se efetuar a colheita.

Com o intuito de preservar a qualidade da uva, no momento da colheita devem ser tomados alguns cuidados. A prática da colheita deve ser realizada nos horários com temperaturas mais amenas do dia, preferencialmente pela manhã, e, uma vez colhida a uva, esta deverá ser mantida na sombra e acondicionada em caixas plásticas.

2.3 CULTIVOS PROTEGIDOS

As variações climáticas que acontecem durante o ano – principalmente na ocorrência de chuva e granizo – afetam consideravelmente a produção e a qualidade das uvas no Rio Grande do Sul, ocasionando grandes prejuízos para os viticultores em algumas safras (BORGHETTI, 2009). Com o intuito de amenizar esses problemas, foi desenvolvida uma nova técnica de cultivo, denominada de “cultivo protegido de videira”. Essa técnica se caracteriza pela construção de uma estrutura de sustentação, em arcos de aço galvanizado ou PVC, coberta com lona plástica impermeável e translúcida (Figura 6), para proteger as plantas contra as mudanças do tempo sem impedir a passagem da luz.

As coberturas plásticas têm como principal finalidade proporcionar o efeito “guarda-chuva”, evitando a água livre da chuva e do orvalho (este se forma na face inferior da cobertura e drena para o espaço de entrefila, pela curvatura da estrutura e pela aditivação dos plásticos que reduz a tensão superficial da água e facilita o escorrimento) sobre as folhas e frutos, o que evita o estabelecimento de doenças fúngicas, principalmente míldio. Como consequência, as coberturas proporcionam o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade do produto.

Com base nos efeitos que essa cobertura proporciona sobre o microclima,

produção e qualidade, aliado às exigências de modificações de manejo fitotécnico e fitossanitário, essa técnica tem sido considerada como um novo sistema de produção de uva (CHAVARRIA; SANTOS, 2009). Essa técnica encontra-se em expansão no Brasil, sendo atualmente mais utilizada nos estados do Rio Grande do Sul (800 ha), Santa Catarina (300 ha) e Paraná (20 ha), principalmente com uva destinada para consumo *in natura* (uvas de mesa) (SANTOS, 2010b). Poucos anos atrás (2002-2003), o Vale do São Francisco chegou a apresentar 700 ha de cultivo protegido (BORGHETTI, 2009), porém essa área foi reduzida por falta de informações técnicas do uso de cobertura em regiões tropicais.

Figura 6 - Cultivos protegidos de videira, salientando a disposição das coberturas sobre os arcos de sustentação em cada fila de cultivo. Detalhe para a abertura no espaço entre filas para facilitar a circulação do ar e reduzir a temperatura, possibilitando principalmente o efeito “guarda-chuva” e minimizando o efeito “estufa”. Bento Gonçalves, RS. Fotos: Santos (2007)[12].

2.3.1 Alterações microclimáticas em cultivos protegidos

A cobertura plástica altera as condições microclimáticas do vinhedo, proporcionando um aumento na temperatura média máxima diária (3,4 ºC). Contudo, as coberturas não proporcionam proteção contra as geadas, pois a diferença na temperatura mínima diária entre os cultivos sob cobertura plástica e o cultivo convencional não é significativa (COMIRAN, 2009). Em relação à radiação solar, esta sofre uma diminuição (-33% acima do dossel e -55% nos cachos), de igual forma que a velocidade do vento (-88%), em relação ao parreiral sem cobertura.

A umidade relativa do ar permanece quase igual se comparada com um cultivo convencional, porém a umidade absoluta é maior em função do aumento da

12 Fotografias fornecidas pelo Dr. Henrique Pessoa dos Santos, pesquisador da Embrapa Uva e Vinho de Bento Gonçalves-RS, tiradas no ano 2007.

temperatura. Neste aspecto hídrico, destaca-se a grande restrição de água livre sobre as partes vegetativas e reprodutivas das plantas, e uma diminuição de perda de água do solo por evaporação e por transpiração das plantas (CHAVARRIA et al., 2009).

Nestas condições, as coberturas exigem modificações no manejo fitotécnico, tais como podas verdes para evitar a saída de brotos para fora das coberturas, e no manejo fitossanitário, pela grande redução na demanda de controle químico para doenças fúngicas (CHAVARRIA; SANTOS, 2009). Portanto, com essas alterações, o cultivo protegido proporciona redução no uso de agrotóxicos, garantia de safras e um incremento na qualidade do produto, em comparação ao cultivo convencional.

2.3.2 Aspecto econômico

Em relação ao aspecto econômico, calcula-se que para cobrir um hectare com aramados, postes, arcos e plástico o custo varia entre R$ 70 mil e R$ 75 mil (BORGHETTI, 2009). Dependendo dos cuidados, a cobertura plástica pode durar um período de cinco anos, sendo necessário após esse período a substituição apenas dos plásticos. Portanto, considerando um hectare com uvas finas de mesa (cultivar Itália, por exemplo) que pode produzir em média 25 toneladas, com um preço de venda de 3 reais/kg, pode-se recuperar o investimento da cobertura na primeira safra. Além disso, as uvas sob cobertura plástica ficam com melhor aspecto visual e mais saudáveis, em função da redução do uso de agrotóxicos, o que proporciona uma maior garantia de comercialização da produção. Na Figura 7 é mostrado o parreiral com cobertura plástica, no qual foram realizados os experimentos deste trabalho.

Figura 7 - Parreirais cultivados sob cobertura plástica no Vale dos Vinhedos, Bento Gonçalves, RS.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO PRESENTE CAPÍTULO

Nesse capítulo foram apresentados aspectos relacionados à viticultura, especialmente, a influência das condições ambientais e os tratos culturais nas videiras da espécie *Vitis vinifera*. Também foi apresentado um item em relação a vinhedos/parreirais cultivados sob cobertura plástica, procurando assim, ter um melhor conhecimento desta técnica; considerando que um dos cenários experimentais foi um parreiral cultivado sob cobertura plástica.

Pôde-se perceber a importância do clima no desenvolvimento fenológico das videiras, em relação às variáveis ambientais (temperatura, umidade relativa, pluviometria, insolação e radiação solar). A temperatura ambiental vai ter um efeito diferente na videira, dependendo da etapa fenológica dela e da estação do ano. O enfoque tradicional no monitoramento climático na agricultura brasileira é o uso de estações meteorológicas, sendo considerados os dados coletados por elas como valores médios representativos de grandes extensões de terreno. A vantagem de se utilizar as RSSFs é que cada nó pode ser considerado como uma pequena estação meteorológica, com a possibilidade de coletar dados dessas variáveis ambientais em diferentes pontos no vinhedo/parreiral.

No próximo capítulo são descritos diferentes trabalhos relacionados a aplicações das RSSFs na agricultura, principalmente, na área vitícola, demonstrando-se a importância da aplicação deste tipo de redes no gerenciamento microclimático em ambientes agrícolas, levando em consideração o paradigma da agricultura de precisão.

3 REDES DE SENSORES SEM FIO

3.1 INTRODUÇÃO

Os dispositivos computacionais estão se tornando cada vez menores, possibilitando o nascimento de novas tecnologias. Uma dessas tecnologias é a Rede de Sensores sem Fio (RSSF), constituída por um conjunto de dispositivos chamados nós. Dentre as partes básicas que constituem um nó, podem ser citadas o microprocessador, a memória, o conversor analógico–digital (ADC), o módulo de rádio, a fonte de alimentação e os sensores, fornecendo aos nós a capacidade de coletar os dados do ambiente no qual são incorporados (CULLER; ESTRIN; SRIVASTAVA, 2004; YICK; MUKHERJEE; GHOSAL, 2008).

Estes dispositivos, distribuídos em um espaço físico, permitem implementar aplicações dos mais variados gêneros (HAYES et al., 2008; WERNER-ALLEN et al., 2005).

3.2 SISTEMA OPERACIONAL

O sistema operacional permite gerenciar os diversos componentes que constituem o nó, de forma que possam ser implementadas as diferentes aplicações. O sistema operacional deve permitir alocar os recursos limitados dos nós às múltiplas atividades concorrentes tais como sensoriamento, processamento e comunicação (CULLER; ESTRIN; SRIVASTAVA, 2004).

Um dos sistemas operacionais mais comuns no entorno de RSSFs é o TinyOS.

3.3 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

3.3.1 Padrão ZigBee

O padrão ZigBee (ZIGBEE, 2010) estabelece um conjunto de especificações (pilha de protocolos) para a comunicação sem fio em sistemas de sensores e controle, os quais, geralmente, dispõem de pouca largura de banda, energia limitada para operação dos dispositivos e devem ter uma baixa latência[13], considerando o grande número de dispositivos que podem constituir a rede.

O padrão IEEE 802.15.4 (IEEE 802.15.4, 2010) contém as especificações para as camadas mais baixas da pilha de protocolos ZigBee (física e de acesso ao meio). A seguir são citadas as características do padrão ZigBee/IEEE 802.15.4, especificadas em Kinney (2003):

- **camada Física:** opera em três frequências (2,4 GHz, 915 e 868 MHz);
- **taxa de transmissão de dados:** 250 kbps (2,4 GHz), 40 kbps (915 MHz) e 20 kbps (868 MHz);
- **acesso ao meio físico:** realizado por meio do protocolo CSMA-CA[14];
- **endereçamento:** 64bits (endereço IEEE);
- **dois tipos de dispositivos físicos:** *Full Function Device* (FFD) e *Reduced Function Device* (RFD). Cada um desses dispositivos pode operar em dois modos: ativo (transmitir/receber) e inativo;
- **múltiplas topologias de rede:** estrela, *cluster* e malha (*mesh*);
- **alcance:** 50 m (entre 5 e 500 m, dependendo do ambiente).

Na Figura 8 são apresentadas as topologias de rede e os dispositivos físicos (FFD e RFD) suportados pelo padrão ZigBee/IEEE 802.15.4.

---

13 A latência é o tempo que demora um dado para ser transportado entre dois dispositivos na rede.

14 *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA-CA) é um protocolo de comunicação no qual os dispositivos da rede esperam que o canal fique disponível para realizar suas transmissões, evitando possíveis colisões.

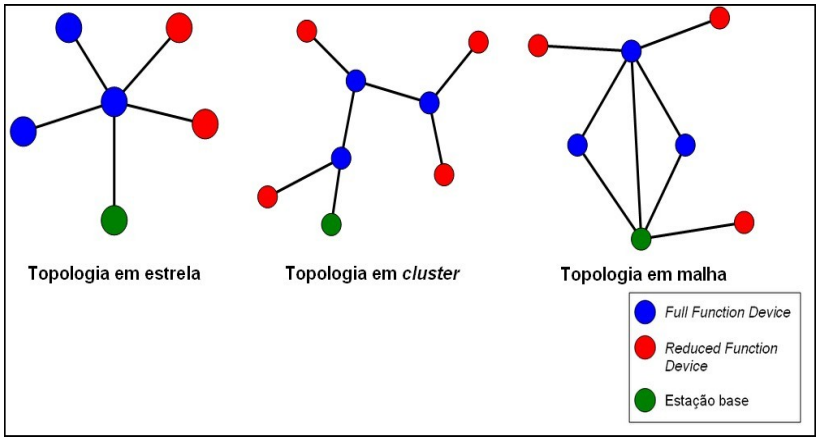


Figura 8 - Dispositivos e topologias de redes ZigBee. Extraído de Kinney (2003).

•

3.4 MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO PARA RSSFS

3.4.1 Zona de Fresnel

A zona de Fresnel é uma região elíptica associada à comunicação sem fio, definida entre as antenas do transmissor e do receptor. Esta zona varia de espessura, dependendo da distância entre os nós e da frequência do sinal; a presença de objetos na zona de Fresnel causa difração, atenuando a energia do sinal recebido (ANASTASI et al., 2004). Na Figura 9 é mostrada uma representação da zona de Fresnel.

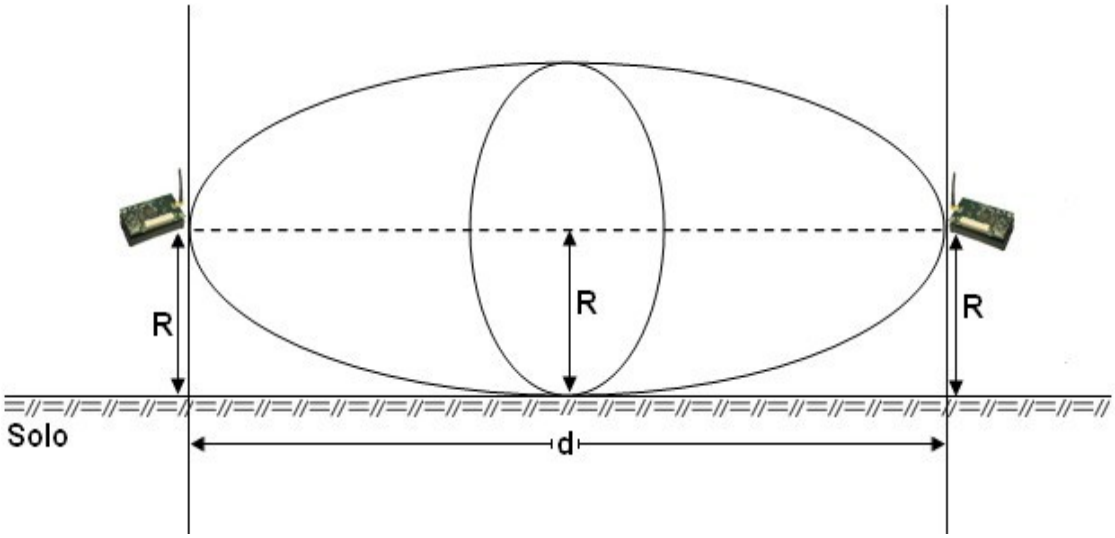


Figura 9 - Representação da zona de Fresnel. Extraído de Anastasi et al. (2004).

Os dispositivos da rede (transmissor e receptor) devem ficar a uma altura de R m do solo, valor que pode ser calculado a partir da eq.(1) (STALLINGS, 2005). Uma forma de reduzir a atenuação do sinal é garantir pelo menos que 60% de R fique livre de interferência, caso contrário objetos ou mesmo o solo presentes nessa zona ocasionam uma atenuação significativa do sinal. Esta região também é conhecida como "Primeira Zona de Fresnel", representada como R_1.

$$R = (\sqrt{\lambda \cdot d})/2 \tag{1}$$

na qual:

λ = comprimento de onda (para 2,4 GHz, o comprimento de onda é 0,125 m);

d = distância entre os nós (m);

R_1 = 60%R.

Na Tabela 2 apresentam-se a altura recomendada (R) e a altura mínima (R_1) para posicionar os nós, considerando diferentes distâncias de transmissão e uma frequência de rádio de 2,4 GHz.

Tabela 2 - Altura recomendada para posicionar os nós, considerando diferentes distâncias de transmissão.

Distância (m)	**Altura (R) (m)**	**R_1 = 60%R (m)**
1,0	0,18	0,11
1,5	0,22	0,13
2,0	0,25	0,15
2,5	0,28	0,17
5,0	0,40	0,24
10,0	0,56	0,34
15,0	0,68	0,41
20,0	0,79	0,47
30,0	0,97	0,58
40,0	1,12	0,67
50,0	1,25	0,75
60,0	1,37	0,82
70,0	1,48	0,89

A partir da Tabela 2 pode-se verificar que se os nós estivessem

posicionados a uma distância de 10 m, deveriam ficar pelo menos a uma altura de 0,34 m do solo, garantindo dessa forma que, 60% de R não fique em contato com o solo.

3.4.2 Parâmetros para avaliar a qualidade do enlace de comunicação

Os transceptores de rádio são fabricados em um único circuito integrado, utilizando a tecnologia *Complementary Metal Oxide Semiconductor* (CMOS). O transceptor CC2420, que faz parte da plataforma MicaZ, opera na banda *Industrial Scientific and Medical* (ISM), frequência 2,4 GHz, e está baseado na norma IEEE 802.15.4 (IEEE 802.15.4, 2010). Sua potência de transmissão pode ser programada entre -25 dBm e 0 dBm e a sensibilidade do seu receptor é de até -94 dBm. Utiliza modulação *Offset Quadrature Phase-Shift Keying* (OQPSK[15]) e codificação *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS[16]) (GIACOMIN; VASCONCELOS, 2006).

O transceptor CC2420 disponibiliza dois parâmetros para avaliar a qualidade do enlace de comunicação em um ambiente: o *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) e o *Link Quality Indicator* (LQI) (CC2420, 2010).

3.4.2.1 Indicador de intensidade de sinal recebida (RSSI)

A potência de transmissão, configurada no dispositivo transmissor (P_{TX}), afeta diretamente à potência de recepção no dispositivo receptor (P_{RX}). Em concordância com a eq.(2) (equação de transmissão em espaço livre de Friis), a potência do sinal recebida decresce quadraticamente com relação à distância (ULABY; MOORE; FUNG[17], 1981 apud GIACOMIN; VASCONCELOS, 2006).

$$P_{RX} = P_{TX} \cdot G_{TX} \cdot G_{RX} \left(\lambda / (4 \cdot pi \cdot d)\right)^2 \qquad (2)$$

na qual:

P_{TX} = potência transmitida;

15 A modulação OQPSK permite maior eficiência na transmissão, atingindo uma taxa de transferência de dados de 250 kbps.

16 O uso de DSSS dá maior robustez ao sinal de rádio, diminuindo a interferência de sinais externos e os efeitos de propagação por caminhos múltiplos.

17 ULABY, F. T.; MOORE, R. K.; FUNG, A. K. Microwave Remote Sensing: Active and Passive. Londres: Artech House, 1981. v. 1, 456 p.

P_{RX} = potência recebida;

G_{TX} = ganho da antena do transmissor;

G_{RX} = ganho da antena do receptor;

λ = comprimento de onda;

d = distância entre o transmissor e o receptor.

Em dispositivos embarcados, a potência recebida é convertida a um indicador de intensidade de sinal recebida (RSSI). O RSSI é definido como uma relação entre a potência recebida (P_{RX}) e a potência de referência (P_{Ref}), como definido na eq.(3) (GROSSMANN et al., 2007).

$$RSSI = 10 \cdot \log(P_{RX} / P_{Ref}) \tag{3}$$

onde:

$RSSI$ = valor definido em dBm;

P_{RX} = potência recebida;

P_{Ref} = potência de referência.

Tipicamente, a potência de referência representa um valor absoluto (P_{Ref} =1 mW). O intervalo de valores para o RSSI está aproximadamente entre -100 dBm e 0 dBm (CC2420, 2010). O lado esquerdo da Figura 10 apresenta a relação existente entre a potência recebida (P_{RX}) em relação à distância (d), enquanto que o lado direito da mesma figura apresenta a relação entre o RSSI e a potência recebida (P_{RX}).

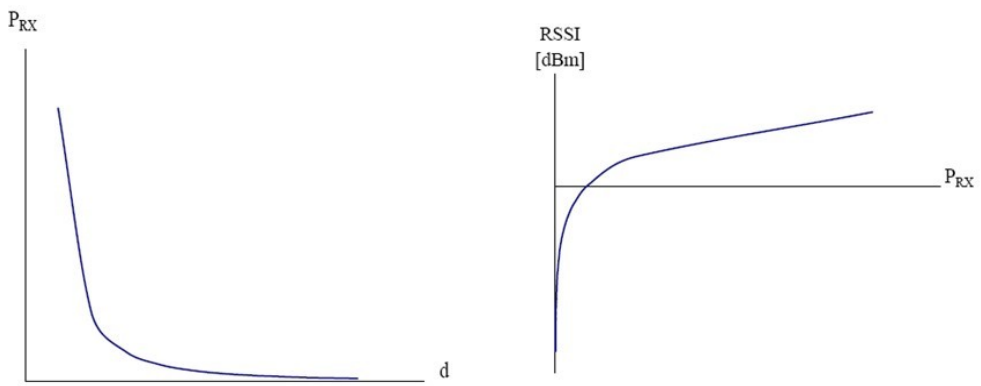


Figura 10 - Potência recebida (P_{RX}) em relação à distância (d) (lado esquerdo), RSSI em relação à potência recebida (P_{RX}) (lado direito). Extraído de Grossmann et al. (2007).

3.4.2.2 Indicador de qualidade de enlace (LQI)

Outro parâmetro para avaliar a comunicação entre os nós é baseado no indicador de qualidade de enlace (LQI), que está correlacionado à qualidade dos pacotes recebidos. O módulo de rádio CC2420 implementa o LQI baseado nos oito primeiros bits de cada pacote de dados recebido, gerando um valor de correlação no intervalo entre 50 e 110 (CAO et al., 2006).

Um valor de correlação de 110 indica uma qualidade máxima, enquanto, um valor de 50 é normalmente a qualidade mais baixa detectável pelo módulo de rádio CC2420 (CC2420, 2010).

3.5 APLICAÇÕES AGRÍCOLAS E AMBIENTAIS DAS RSSFS

Uma das aplicações das RSSFs na área agrícola é o monitoramento ambiental. Wang; Zhang e Wang (2006) apresentam uma revisão em relação aos trabalhos desenvolvidos com tecnologias de sensores sem fio aplicados na agricultura e na indústria dos alimentos. Percebe-se uma grande tendência de aplicações na área agrícola, orientadas especialmente à coleta de dados espaciais. Outra área na qual vêm sendo aplicadas com sucesso as RSSFs é a ecológica, sendo que o foco principal é a compreensão do relacionamento entre os organismos vivos e o seu meio ambiente, considerando a variabilidade espaço-temporal e tirando vantagem da não invasividade desta tecnologia nos ambientes estudados (SURI; IYENGAR; CHO, 2006).

A aplicação das RSSFs nas fazendas também está ganhando importância. Wark et al. (2007) apresentam a utilização de uma RSSF em uma fazenda na Austrália, na qual foram utilizadas duas redes: uma fixa, distribuída na área de pastagem para avaliar as condições do campo, e outra móvel, colocada em coleiras no pescoço do gado para estudar o seu comportamento na área de pastagem. A finalidade do trabalho foi conhecer o estado e a interação do gado no rebanho, bem como diminuir a erosão do solo, considerando-se como trabalho futuro a implementação de cercas virtuais, que poderiam ser utilizadas para influenciar na movimentação do gado na área de pastagem.

Outro trabalho de pesquisa aplicando RSSFs em uma cultura agrícola é apresentado em Baggio (2005). Nesse trabalho foram descritas as considerações técnicas do projeto LOFAR-Agro, cujo propósito foi monitorar as condições ambientais em um cultivo de batatas. O projeto foi desenvolvido por pesquisadores da Holanda, no qual foram utilizados dispositivos sensores da família T-Node (TNODE, 2010). O objetivo foi avaliar o protocolo TMAC, tanto no laboratório quanto no campo, desenvolvido pelo grupo de pesquisa da Universidade de Delft, Holanda. Na camada de roteamento foi utilizado o protocolo MintRoute e para conseguir a reprogramação remota dos nós foi utilizado o aplicativo Deluge.

Na fase de implantação do projeto LOFAR-Agro suscitaram-se vários problemas, relatados em Langendoen; Baggio e Visser (2006). O projeto demonstrou um desempenho satisfatório nos testes realizados no laboratório, porém na fase de implementação apareceram problemas não considerados na fase prévia. Em relação a esses problemas, percebeu-se uma perda de pacotes na rede, o desempenho do protocolo MintRoute foi aquém do esperado, sendo que os nós que estavam próximos à estação base “procuravam” caminhos mais longos para entregar os seus dados. O maior problema reportado foi o tempo de vida da rede. No início, estimou-se uma duração do projeto de 3 meses, porém a rede operou por no máximo de 3 a 4 semanas, apresentando, após esse período, grandes problemas de falta de energia.

3.6 ESTADO DE ARTE DA APLICAÇÃO DAS RSSFS NA VITICULTURA

Uma cultura agrícola para a qual foi percebido grande interesse para a aplicação das RSSFs, seja como trabalhos de pesquisa das diferentes universidades no mundo, seja para o desenvolvimento de soluções comerciais, são os vinhedos. A seguir apresentam-se os principais trabalhos relacionados à área.

3.6.1 Trabalhos de pesquisa sobre aplicação das RSSFs em vinhedos

Uma das pesquisas iniciais que abordou a utilização das RSSFs em vinhedos foi a realizada por Burrell; Brooke e Beckwith (2004). Nesse trabalho, o

grupo de pesquisa da Intel realizou um estudo sobre a aplicabilidade das RSSFs na viticultura com a finalidade de se obter um “vinhedo inteligente”. Partindo de uma pesquisa etnográfica realizada, a qual envolvia todos os atores da cadeia produtiva vitivinícola, determinou-se a importância de se aplicar esta tecnologia como uma ferramenta de apoio à tomada de decisões. O trabalho incluiu experiências de campo para avaliar as RSSFs no ambiente considerado: em uma fase inicial, em pequena escala, com uma rede de 18 nós e, posteriormente, com um número maior de dispositivos (65 nós implantados em um hectare) (BECKWITH; TEIBEL; BOWEN, 2004b). Utilizaram-se como nós da rede dispositivos da MEMSIC, considerando uma topologia com dispositivos finais e roteadores, distribuídos em *clusters* para economizar energia. A importância dos trabalhos citados anteriormente está em que eles consideravam desenvolver sistemas proativos que teriam a capacidade de ajudar no gerenciamento do vinhedo, tais como no controle de sistemas de irrigação automática, aplicação de pesticidas, etc.

Complementando o trabalho descrito anteriormente, em Beckwith; Teibel e Bowen (2004a) são descritos os resultados obtidos na implantação da rede em um período de seis meses. A coleta dos dados foi realizada a cada 5 min, permitindo o monitoramento das uvas durante o seu período de maturação. Contudo, ocorreu instabilidade na comunicação e perda dos pacotes transmitidos devido à interferência do meio (somente foram recebidos 77% dos pacotes enviados), sendo demonstrada a variabilidade espacial do microclima no vinhedo. Os autores concluíram que, para se obter incremento de qualidade enológica da uva, deve-se possuir uma ferramenta que permita gerenciar essa variabilidade.

Por sua vez, tanto em Goodfood (2006) quanto em Manes (2010), consideram-se as RSSFs como uma tecnologia necessária na viticultura de precisão[18]. Destacam-se, como parâmetros de interesse, o monitoramento tanto das condições ambientais quanto da umidade do solo, sendo a intenção, passar da coleta manual ao levantamento remoto dos dados, resultando em uma alimentação automática dos sistemas de apoio para as decisões a serem tomadas no gerenciamento do vinhedo.

Manes (2010) descreve um projeto de implantação de RSSFs em quatro vinhedos piloto, localizados na Itália e na França. As plataformas utilizadas foram da

---

18 Denomina-se viticultura de precisão (VP) ao emprego da agricultura de precisão no cultivo da videira (MIELE et al., 2010).

empresa italiana Netsens s.r.l., com sensores de umidade do solo, umidade relativa do ar e temperatura ambiental. O projeto vem apresentando resultados satisfatórios, com tempo de vida da rede em um dos vinhedos monitorados acima dos dois anos. O projeto inclui três questões críticas: o uso eficiente da água; o monitoramento das condições ambientais para que o proprietário do vinhedo possa saber o momento oportuno de aplicar um determinado fungicida, quando exista risco de ataque de uma doença; e, finalmente, o monitoramento da maturação das uvas, para determinar o momento em que estas devem ser colhidas. Em um período maior de implantação foi possível identificar os diferentes microclimas no vinhedo, permitindo colheitas seletivas para produção de melhores vinhos.

Outra aplicação relacionada às RSSFs em vinhedos é apresentada por Marino et al. (2008), porém com nós de tamanho maior. O objetivo desse trabalho foi monitorar quatro zonas vitícolas na Espanha por meio de estações climáticas. Estas estações foram equipadas com sensores de temperatura, umidade relativa, radiação solar, temperatura do solo e precipitação. Um *data logger* permitia o armazenamento dos dados e a comunicação com a estação central era realizada por meio de frequências de rádio, sendo utilizado um painel solar para alimentar as estações climáticas. Os dados eram armazenados em um banco de dados, disponibilizados na Internet e serviam para alimentar o modelo biológico-ecológico, desenvolvido pelo grupo de pesquisa.

Em Manickam (2005) é descrito um trabalho desenvolvido na Austrália, cujo objetivo foi monitorar as condições microclimáticas em um vinhedo, procurando determinar a influência do clima na qualidade das uvas da cultivar Chardonnay. A plataforma utilizada foi da família Mica2 da MEMSIC com uma variação no módulo da fonte de alimentação, a qual estava constituída por seis pilhas, sendo adaptada para produzir uma saída de 3 V. A aplicação foi construída utilizando o Maté, um *middleware* concebido para simplificar a programação dos nós. Foi realizada uma caracterização da plataforma utilizada em relação ao alcance de transmissão, precisão do sensor e antenas. Em relação ao tempo de vida dos nós, o projeto apresentou resultados inesperados com uma média de duração de 15 dias.

Uma preocupação evidente é estender o tempo de vida dos nós, sendo que a energia disponível nesses dispositivos é um recurso limitado. As plataformas utilizadas no âmbito de pesquisa na área referida comumente são as desenvolvidas pela Universidade de Berkeley, cuja fonte de alimentação está constituída por duas

baterias (pilhas AA). Uma opção para estender o tempo de vida é otimizar o consumo de energia mediante a utilização de protocolos de rede, dependendo da aplicação. Em Galmes (2006) é apresentada a combinação de duas técnicas: amostragem aleatória, para uma coleta de dados contínua, e o protocolo Aloha puro sem retransmissões, para a entrega dos dados na estação base. Este enfoque somente foi testado em ambientes de simulação, porém os resultados obtidos indicaram um bom desempenho para sua aplicação em vinhedos, demonstrando-se que os nós da rede poderiam operar por um período de dois anos antes de trocar as suas baterias.

Em Morais et al. (2008) é apresentada outra solução para o problema de energia, também adotada no setor comercial: o uso de energia captada do ambiente para o funcionamento dos nós. Esse trabalho foi realizado na Região Demarcada do Douro – Portugal, e são descritas as características do hardware e do software da plataforma MPWiNodeZ, desenvolvida pelo grupo de pesquisa. A sua característica fundamental foi o seu sistema de gerenciamento de energia, pois os nós possuem a capacidade de carregar suas baterias com energia captada do ambiente (energia solar, por exemplo).

Variáveis ambientais como a temperatura e a umidade relativa são de grande importância na viticultura. No entanto, o monitoramento das condições do solo e das plantas deve ser também considerado. Marta; Martinelli e Orlandini (2008) realizaram um estudo sobre a variabilidade espacial da umidade no dossel das videiras. Este fator, em condições desfavoráveis (maior umidade), propicia a presença de doenças fúngicas no vinhedo. O trabalho descrito foi realizado na Itália e os resultados obtidos demonstraram a existência de variabilidade microclimática, a qual depende principalmente da estrutura do dossel.

Um aspecto importante na aplicação das RSSFs em vinhedos é ter a capacidade de gerar modelos a partir dos dados coletados, que permita entender a relação entre as uvas cultivadas e o vinho produzido. Em Shanmuganathan; Ghobakhlou e Sallis (2008) procurou-se modelar o efeito das alterações climáticas sobre a qualidade das uvas e, portanto, sobre o vinho produzido. Já na etapa de amadurecimento da fruta, as condições ambientais influirão nos seus componentes, tendo repercussão no aroma e a cor do vinho. O trabalho apresenta uma arquitetura para um sistema de monitoramento de um vinhedo, com os dispositivos sensores como unidades fundamentais para coleta e transmissão dos dados até um servidor

central para sua disponibilidade na Internet. Apresentam-se também, a modelagem do banco de dados, com as entidades e relações que constituem o sistema. Este projeto adotou, como sítios pilotos, vinhedos do Chile e da Nova Zelândia.

As RSSFs podem ser utilizadas como apoio aos sistemas de rastreabilidade, e dessa forma os sistemas podem se tornar proativos, prevenindo ocorrências negativas na produção de alimentos. No caso da cadeia produtiva do vinho, uma RSSF pode ser implantada para a rastreabilidade ao longo de toda sua cadeia (no vinhedo e na cantina). No trabalho de Anastasi et al. (2009b) é descrita uma experiência sobre a implantação de duas RSSFs em uma fazenda da Itália, sendo que uma das redes foi utilizada para o monitoramento das condições micro e macroclimáticas no vinhedo, e a outra, na cantina. A RSSF implantada no vinhedo foi constituída por 15 nós da família TelosB da MEMSIC, equipados com sensores de temperatura, umidade relativa e luminosidade, além de um nó adicional localizado na borda do campo, operando como estação meteorológica. Uma segunda rede, implantada na cantina, foi constituída por 12 nós da família MICAz, permitindo a coleta de dados de temperatura e umidade relativa. O objetivo principal do trabalho foi coletar dados ao longo do tempo, que pudessem ser utilizados para encontrar uma correlação entre os dados das variáveis ambientais coletadas durante a produção das uvas e a qualidade do vinho a ser obtido. A partir da análise prévia dos dados de temperatura e umidade relativa coletados pôde-se predizer a presença de possíveis doenças fúngicas. Considerou-se também, a integração de novos tipos de sensores (temperatura e umidade do solo) que permitam monitorar, com maior precisão, os fatores que influenciam o crescimento das uvas.

3.6.2 Soluções comerciais para viticultura de precisão

3.6.2.1 ēKo Pro Series System

A MEMSIC (MEMSIC, 2010) comercializa uma solução na linha de monitoramento ambiental e de microclimas para culturas agrícolas, conhecida como ēKo Pro Series, que foca principalmente na viticultura. O *kit* básico do ēKo Pro Series tem os seguintes componentes:

- **nó ēKo – eN2100:** permite a interface com até quatro sensores, além de ter

um processador e um módulo de rádio embarcados (plataforma IRIS). Estes nós têm a capacidade de se auto-organizar formando uma RSSF, operando na faixa de frequência de 2,4 GHz;

- **radio base ēKo – eB2110:** sua função é possibilitar a conexão entre a RSSF (nós ēKo) e o *gateway* ēKo; integra um processador e um módulo de rádio da plataforma IRIS, uma antena e uma interface USB que permite a transferência dos dados da rede para o *gateway* ēKo, operando na banda de frequência de 2,4 GHz;
- ***gateway* ēKo – eG2100:** este dispositivo é um servidor web com uma distribuição do sistema operacional Linux Debian instalado. Tem dois pacotes pre-instalados: o ēKoView, para visualização dos dados, e o XServe, para o gerenciamento da rede;
- **ēKoView:** permite a visualização dos dados por meio de uma interface web. Ele vem instalado no *gateway* ēKo;
- **sensor de umidade e temperatura do solo – eS1101:** é possível conectar vários sensores deste tipo em um nó ēKo para medir a umidade do solo em diferentes profundidades;
- **sensor de umidade e temperatura do ambiente – eS1201:** permite medir a umidade relativa do ar e a temperatura ambiental;
- **sensor de molhamento foliar – eS1301:** determina a presença e a duração do molhamento no dossel das plantas. Ajuda na previsão de doenças fúngicas;
- **sensor de conteúdo de água no solo – eS1110:** permite medir o percentual de água presente no solo;
- **estação meteorológica – eS2000:** compreende diferentes tipos de sensores como velocidade e direção do vento, pluviômetro, temperatura e umidade do ambiente, pressão atmosférica e radiação solar;
- **sensor de radiação solar – eS1401:** permite medir a radiação global no ambiente, sendo consideradas as suas duas componentes (direta e difusa).

Uma vantagem que deve ser considerada em relação a esta tecnologia é que os nós ēKo possuem baterias, as quais são carregadas por células solares embarcadas nos dispositivos.

Um *kit* básico ēKo Pro Series é comercializado com os seguintes

dispositivos: três nós ēKo, um rádio base ēKo, um *gateway* ēKo, software de aplicação ēKoView, seis sensores de umidade e temperatura do solo e um sensor de temperatura do ambiente e umidade relativa. A Figura 11 apresenta os dispositivos que conformam um *kit* básico.

Figura 11 - *Kit* básico ēKo Pro Series. Extraído de Memsic (2010).

3.6.2.2 Grape Networks

A Grape Networks (GRAPE NETWORKS, 2010) é uma companhia localizada na Califórnia, Estados Unidos, fundada no ano 2002 e com escritórios em diversos lugares do mundo (Estados Unidos, França, Alemanha e Austrália). Esta empresa comercializa soluções de RSSFs, Sistemas de Informação Geográficos (SIGs), Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (SGBDs) e Sistemas Micro-Eletromecânicos (MEMSs) aplicados principalmente à agricultura. Com as suas plataformas de gerenciamento, a Grape Networks oferece monitoramento do ambiente, água e microclimas em qualquer lugar do mundo, conseguindo disponibilizar esta informação em um celular ou algum outro dispositivo sem fio com acesso à Internet.

A plataforma de gerenciamento da Grape Networks tem dezenas de dispositivos chamados *Mobile Oversight Devices* (MODs), os quais permitem o monitoramento da água e os microclimas, por meio de sensores de umidade do solo, temperatura e umidade relativa. O usuário do sistema tem a possibilidade de estabelecer limites sobre as variáveis monitoradas, de forma que possam ser gerados alertas ao atingir esses limites.

3.6.2.3 Netsens s.r.l.

A Netsens s.r.l. (NETSENS, 2010) é uma empresa situada em Florença, Itália, estabelecida em Novembro de 2004. Comercializa soluções de RSSFs orientadas à agricultura de precisão, especialmente para viticultura. A solução comercializada pela empresa Netsens s.r.l., denominada VineSense, permite que os agricultores possam acompanhar o desenvolvimento de suas culturas agrícolas na Internet, procurando economizar água utilizada na irrigação, reduzir o uso de pesticidas e determinar o momento ideal para realizar a colheita. Os dados são coletados a cada 15 min e, mediante uma análise realizada pelo sistema, são gerados alertas ao usuário de quando o vinhedo precisa ser irrigado ou quando existe risco de uma possível doença, tendo como base, informação coletada por sensores de umidade e temperatura do solo, umidade relativa, temperatura ambiental e umidade das folhas, implantados na cultura agrícola.

3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO PRESENTE CAPÍTULO

Nesse capítulo foram apresentados conceitos gerais sobre RSSFs: sistema operacional, protocolos de comunicação e aplicações agrícolas e ambientais. Foi apresentado também, um levantamento dos diferentes trabalhos de pesquisa realizados envolvendo RSSFs aplicadas à viticultura, bem como as soluções comerciais existentes nessa área. As vantagens percebidas na utilização desta tecnologia são consideráveis: economia na utilização de recursos (água, agrotóxicos), diminuição no impacto ambiental e produção de uvas de melhor qualidade, estimulando a realização de novas pesquisas.

O fato de realizar a avaliação da RSSF experimental, disponível no laboratório, em um vinhedo/parreiral é a sua flexibilidade para considerar diferentes aspectos a serem estudados, como a interferência produzida pelos vegetais, o custo de implantação que é menor se comparada à outras soluções comerciais existentes (linha ēKo Pro Series, por exemplo) e a sua facilidade de integração de novos sensores, por meio da placa MDA300.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo é detalhada a metodologia utilizada no trabalho para a avaliação da Rede de Sensores sem Fio (RSSF) no parreiral, que compreende a infraestrutura desenvolvida para a realização dos experimentos (incluindo o hardware e o software utilizados), descrevem-se também, os cenários experimentais (interno e externo) e uma descrição dos experimentos que foram conduzidos para a avaliação da rede.

4.1 CONCEPÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Com a finalidade de se avaliar a RSSF experimental no parreiral, foram planejados diferentes experimentos incluindo: 1) exatidão dos dados coletados, 2) alcance de conectividade e qualidade do enlace entre os nós e a estação base, 3) desempenho da rede no parreiral e 4) avaliação da variabilidade das condições ambientais, considerando a distribuição espacial dos nós no vinhedo e em diferentes alturas nas plantas de videira. Em uma primeira instância, realizaram-se os experimentos na sala do Laboratório de Automação Agrícola (LAA) para testar os aplicativos a serem utilizados, sendo conduzidos, posteriormente, os experimentos em campo (parreiral cultivado sob cobertura plástica no Vale dos Vinhedos, Bento Gonçalves, RS).

Os dados obtidos ajudaram a um melhor entendimento da funcionalidade da rede, além de complementar a proposta do trabalho, de se realizar a coleta de dados utilizando um intervalo de amostragem variável, detalhada no Capítulo 6. A partir da avaliação realizada em campo, esperou-se propor novos trabalhos que complementem o desenvolvido, na procura de um melhor desempenho da rede em um ambiente agrícola.

4.2 HARDWARE E SOFTWARE UTILIZADOS

Neste item descrevem-se as características da RSSF experimental e os softwares utilizados, que compreendem: o sistema operacional, o protocolo de roteamento, os aplicativos para a coleta dos dados e o software para o gerenciamento dos mesmos.

4.2.1 Hardware utilizado: RSSF experimental

No trabalho foi utilizada uma RSSF experimental, desenvolvida pela Universidade de Berkeley e comercializada pela MEMSIC (MEMSIC, 2010). A RSSF foi constituída por dez nós (nove plataformas MICAz com placa sensora MTS400 e uma plataforma MICAz com placa sensora MTS420), sendo utilizada como estação base uma MIB520 (interface USB). A seguir é apresentada uma descrição dos componentes da RSSF:

4.2.1.1 Nós sensores

4.2.1.1.1 Placa sensora: MTS400/MTS420

Esta placa possui cinco tipos de sensores: umidade relativa do ar, temperatura do ar, pressão atmosférica, luminosidade e acelerômetro em duas dimensões. A placa MTS420, além dos sensores descritos anteriormente, possui um módulo GPS.

4.2.1.1.2 Plataforma: MPR2400 – MICAz

A plataforma MPR2400, que opera na banda 2.400 MHz a 2.483,5 MHz, utiliza um rádio Chipcon CC2420, com um transceptor de radiofrequência integrado baseado no padrão IEEE 802.15.4, conseguindo uma taxa de transmissão de dados de 250 kbps. Possui um microcontrolador Atmega128L, uma memória interna com capacidade de 128 KB de programa, 512 KB de memória *flash* e 4 KB de memória EEPROM para configuração. Também possui um conector de entrada/saída de 51

pinos, que permite a interface com a placa de sensores. É alimentada por duas pilhas AA, com um intervalo de voltagem entre 3,3 e 2,7 V; porém, na prática registrou-se uma voltagem mínima de operação de até 2,2 V. Na Figura 12 é apresentada uma imagem da plataforma MICAz conectada à placa sensora MTS400 (esquerda) e MTS420 (direita).

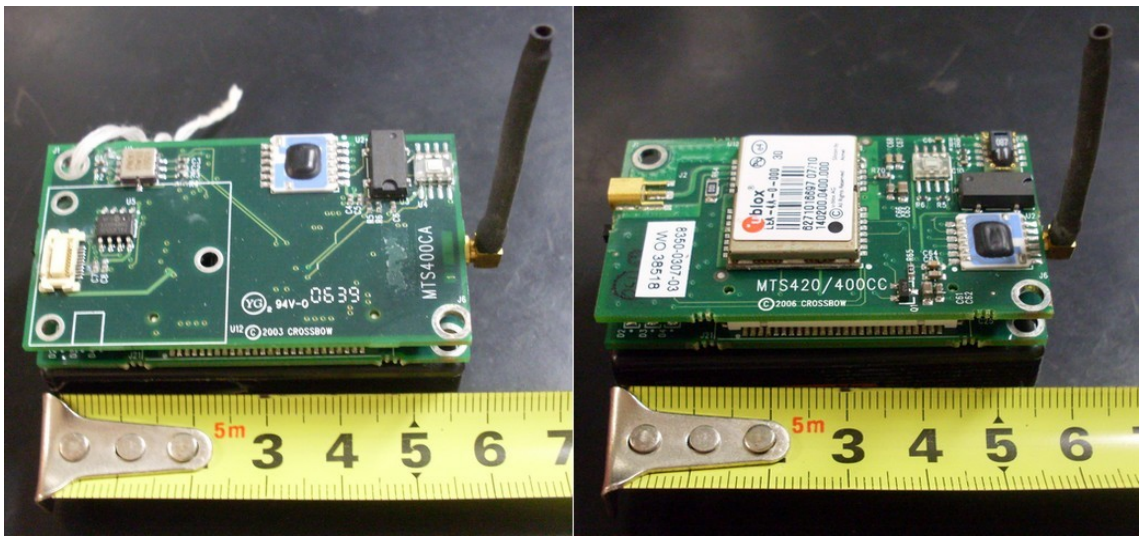


Figura 12 - Plataforma MICAz com placa sensora MTS400 (esquerda) e MTS420 (direita).

4.2.1.2 Estação base

Este dispositivo, também conhecido como *gateway*, permite a interface entre a RSSF e o computador, possibilitando que os dados sejam armazenados no banco de dados e visualizados na tela do computador. A seguir descreve-se a estação base utilizada nos experimentos:

4.2.1.2.1 Estação base MIB520

Este dispositivo fornece interface USB para a família MICA, permitindo a comunicação e a reprogramação dos nós. Na Figura 13 apresenta-se a estação base modelo MIB520.

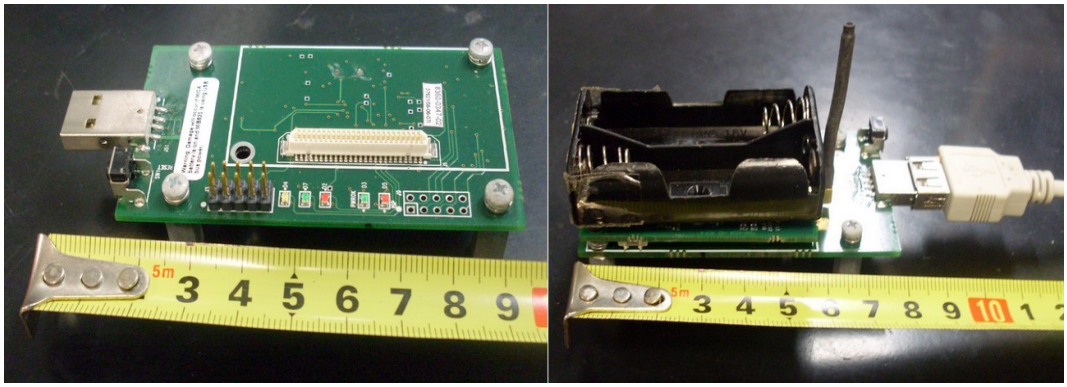


Figura 13 - Estação base USB MIB520 (esquerda) e MIB520 com plataforma MICAz (direita).

No Anexo A encontram-se informações técnicas relacionadas à RSSF experimental, descrita neste item e que foi utilizada no desenvolvimento do trabalho.

4.2.2 Software utilizado

4.2.2.1 Protocolos de roteamento

A rede experimental incorpora o protocolo XMesh (XMESH, 2010) em seus nós. Este protocolo, baseado nas especificações do padrão ZigBee, permite que as redes sejam auto-organizáveis, *multi-hop* e *ad hoc*[19]. Uma rede XMesh é constituída por nós (*mote*[20] e placa sensora), os quais coletam dados e os encaminham por meio da rede até chegar na estação base, conhecida também como *gateway*, dispositivo que permite transmitir os dados coletados pelos nós ao computador. Na Figura 14 é mostrada uma rede XMesh.

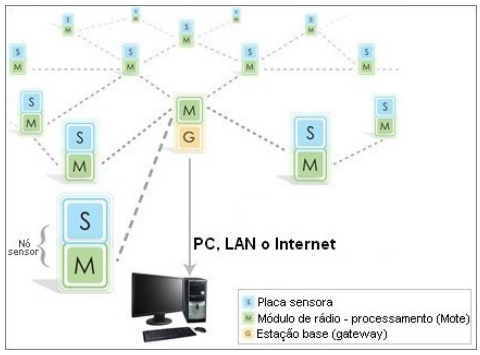


Figura 14 - Diagrama de uma rede XMesh. Extraído de Willow Technologies (2010).

---

19 Uma rede é *ad hoc* quando não depende de uma infraestrutura prévia (roteadores) para o seu funcionamento.

20 A Universidade de Berkeley denomina *mote* a suas plataformas desenvolvidas, constituídas pelos módulos de rádio e processamento (*mote* MICAz, por exemplo).

A seguir são detalhadas as características de operação do protocolo XMesh (XMESH, 2010):

- possibilidade de implementar diferentes topologias: estrela, malha e híbrida (estrela – malha);
- opção de operação em modo *Low Power* para estender o tempo de vida dos nós;
- tempo de sincronização da rede de +/- 1 ms;
- roteamento em ambos sentidos (desde a rede até a estação base e em sentido contrário);
- capacidade *TrueMesh*, a qual se refere à habilidade dos nós em procurar, dinamicamente, novas rotas para encaminhar seus dados, permitindo assim, que a rede seja tolerante a falhas.

Uma rede XMesh pode ser configurada nos seguintes modos de operação:

High Power (HP):

- capacidade *TrueMesh*;
- cada nó na rede é um roteador;
- alta largura de banda, baixa latência;
- rádios dos nós permanecem sempre ligados.

Low Power (LP):

- capacidade *TrueMesh*;
- cada nó na rede é um roteador;
- baixa largura de banda, alta latência, sendo ideal para aplicações de monitoramento ambiental;
- os módulos de rádio normalmente permanecem no estado *sleep*[21], mudando ao estado *wake-up* periodicamente para a avaliação do tráfego no canal de comunicação (8 vezes por s);
- o intervalo de amostragem é de 3 min (*default*), porém eles podem ser reprogramados para diferentes intervalos de amostragem.

---

21 O transceptor de rádio tem quatro estados de operação: transmissão, recepção, *wake-up* e *sleep*.

4.2.2.2 Software para gerenciamento dos dados

Os dados, coletados pelos nós da RSSF, são armazenados em um banco de dados PostgreSQL (POSTGRESQL, 2010) por meio do software MoteView 2.0F, fornecido pela MEMSIC. Este software permite visualizar esses dados na tela do computador (seja em forma de tabelas numéricas ou gráficos estatísticos) e exportá-los em diferentes formatos para sua análise posterior (xml, sql, cvs), existindo também a possibilidade de visualizar os dados de desempenho da rede e a sua topologia (MOTEVIEW, 2010). Nas Figuras 15, 16, 17 e 18 apresentam-se exemplos de telas do software MoteView 2.0F.

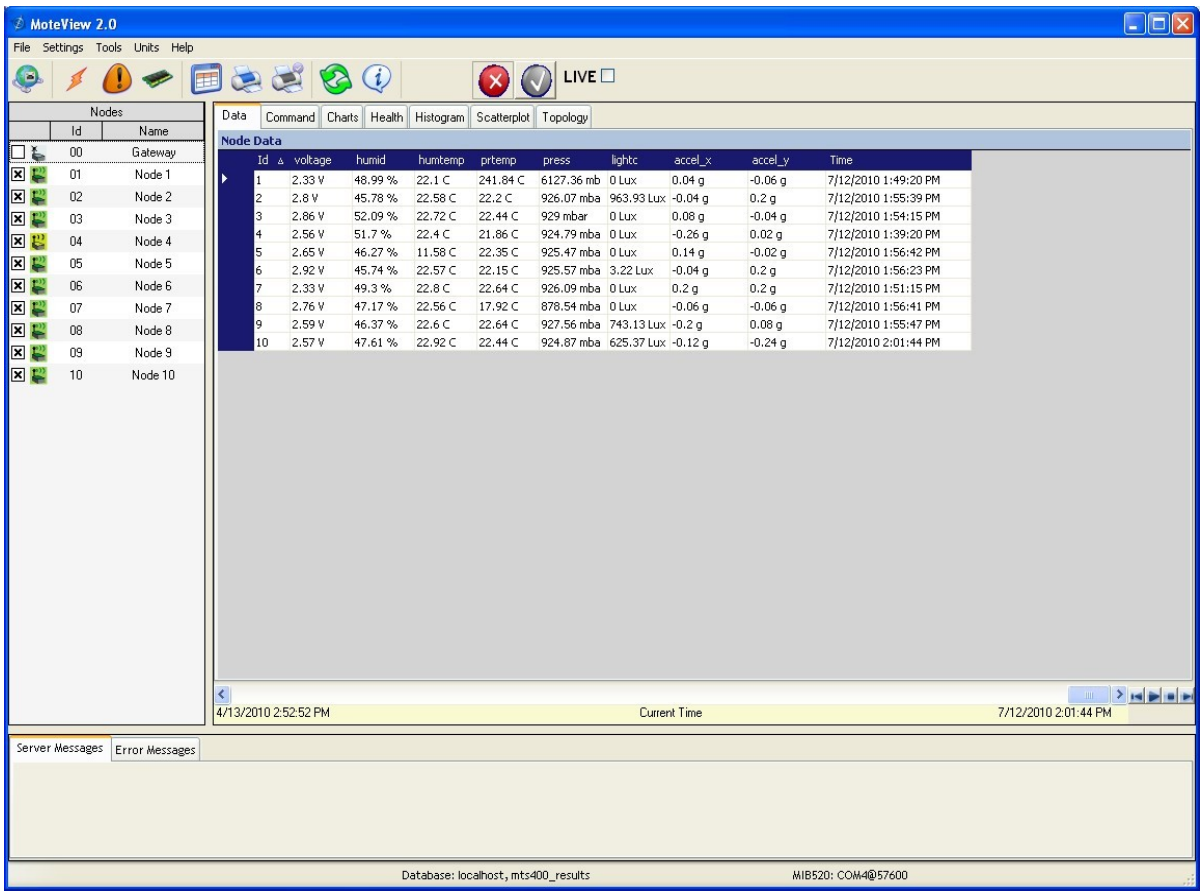


Figura 15 - Tela para visualizar os dados coletados pelos nós em forma de tabela numérica.

Figura 16 - Tela para visualizar os dados coletados pelos nós em forma de gráfico.

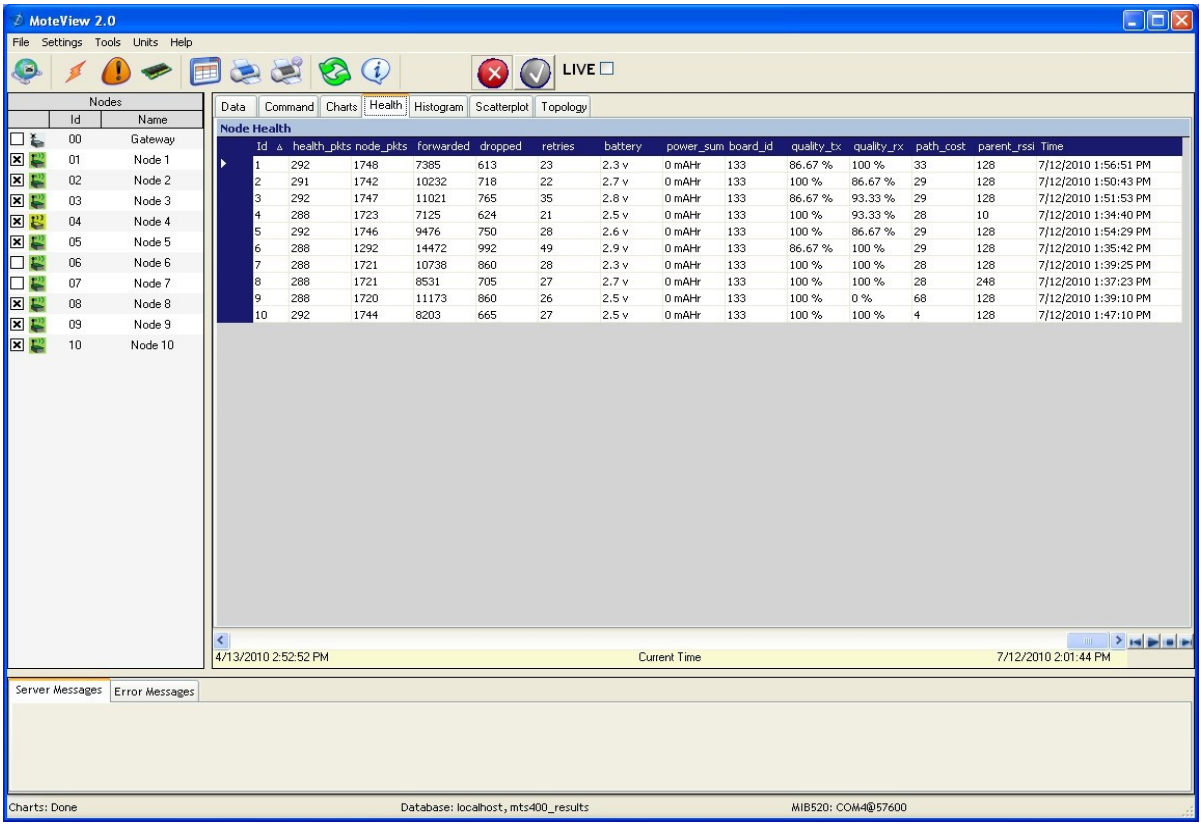


Figura 17 - Tela para visualizar os dados relacionados ao desempenho da rede.

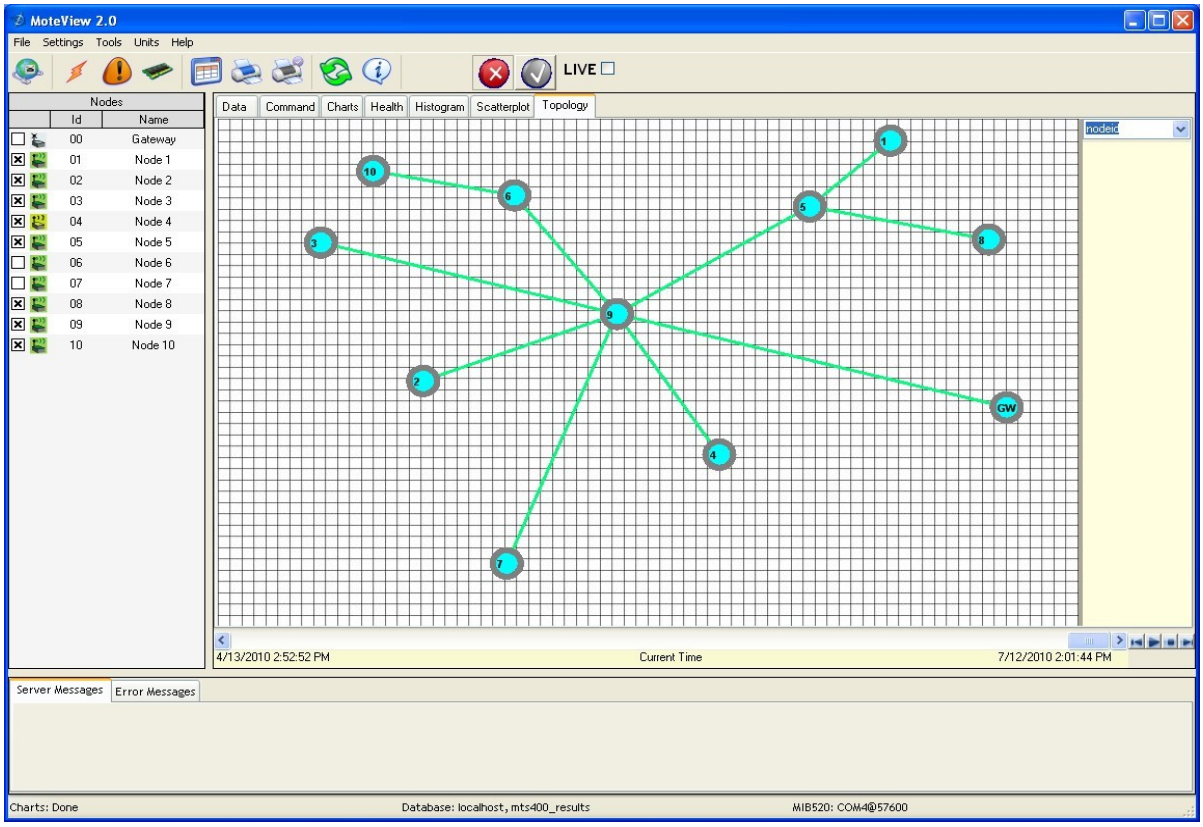


Figura 18 - Tela para visualizar a topologia da rede.

4.2.2.3 Ambiente para programação dos nós

No ambiente de trabalho foi instalado o sistema operacional TinyOS 1.1.14 (TINYOS, 2010), por sua compatibilidade com os nós utilizados (plataforma MICAz e placa sensora MTS400/MTS420), de forma a se avaliar o aplicativo a ser usado nos experimentos relacionados à avaliação da qualidade do enlace.

O TinyOS (TINYOS, 2010) é um sistema operacional de código aberto, desenvolvido especialmente para ser utilizado nos nós em função dos seus recursos limitados (memória, capacidade de processamento, etc.). O TinyOS está escrito com base na linguagem de programação NesC (NESC, 2010), uma extensão da linguagem C. A arquitetura do TinyOS é baseada em componentes, as bibliotecas que ele incorpora incluem protocolos de rede, serviços distribuídos, controladores para sensores e ferramentas para aquisição de dados, que podem ser utilizadas em uma aplicação customizada.

Para a programação dos nós nos diferentes modos de operação, *High Power* (HP) ou *Low Power* (LP), bem como para a instalação do aplicativo que permita a coleta dos dados ambientais utilizou-se o software MoteWorks™, que é um

ambiente de desenvolvimento de aplicações para RSSFs, fornecido pela MEMSIC (MOTEWORKS, 2010). Tanto o TinyOS 1.1.14 como o MoteWorks™ foram acessados por meio do Cygwin, que emula um ambiente Linux no sistema operacional Windows (CYGWIN, 2010). Na Figura 19 é mostrada a estrutura de diretórios do TinyOS 1.X.

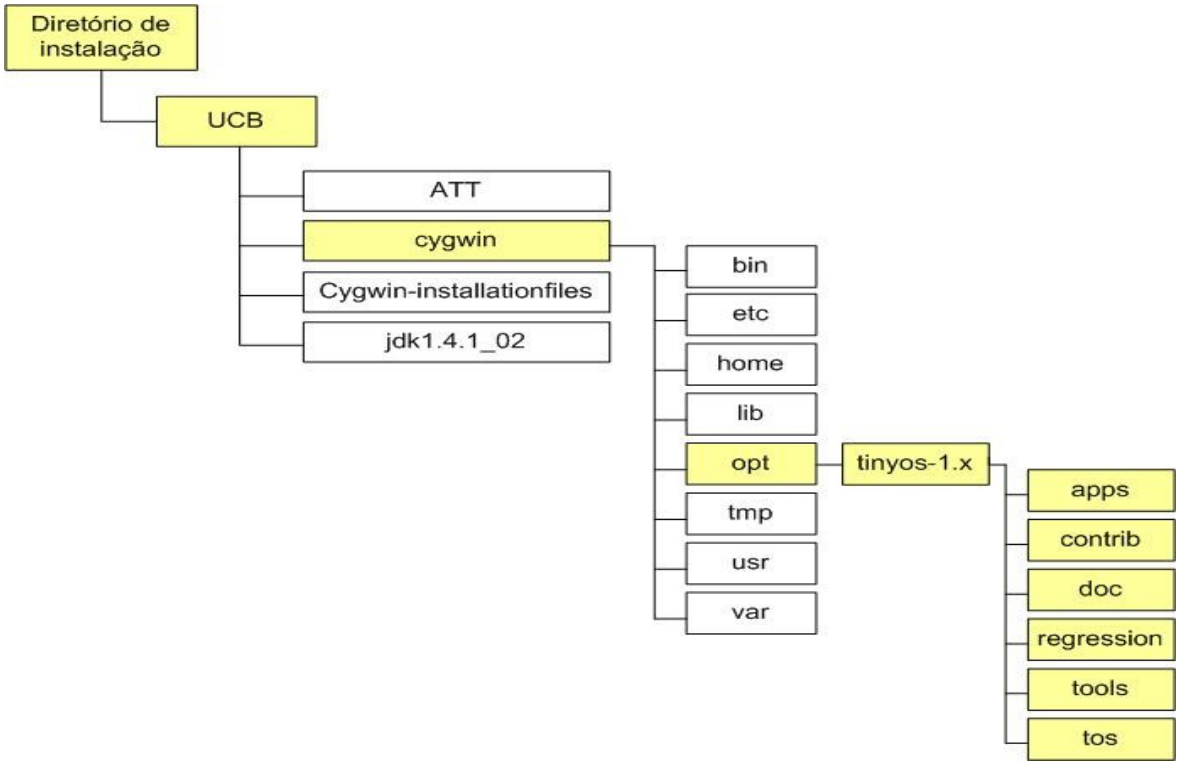


Figura 19 - Estrutura de diretórios do TinyOS 1.X. Baseado em Moteworks (2010).

4.2.2.4 Aplicativo utilizado para realizar a coleta dos dados ambientais

A MEMSIC disponibiliza diferentes tipos de aplicativos para o funcionamento dos nós, dependendo da placa sensora a ser utilizada. Esses aplicativos, desenvolvidos em NesC (NESC, 2010), fazem parte do MoteWorks™; para o caso da placa MTS400/MTS420 é utilizado o XMTS400, o qual pode ser programado nos modos HP ou LP, já explicados no item 4.2.2.1.

Na Figura 20, gerada a partir do aplicativo XMTS400 utilizando o comando “make micaz docs” no *shell* do cygwin, descrevem-se os componentes que fazem parte do XMTS400: o programa principal (módulo e configuração), o GenericCommPromiscuous (para envio e recepção de pacotes), os controladores para os sensores da placa MTS400, o protocolo de roteamento XMesh, os recursos

(*timer*, *leds* e *buffer*), o XCommand (para envio de comandos da estação base para os nós) e o conversor analógico digital. Este aplicativo pode ser modificado para coletar somente as variáveis necessárias, dependendo da aplicação a ser implementada, modificações que permitirão economizar espaço para o armazenamento dos dados, além de um menor consumo de energia por ser enviado um pacote de dados menor.

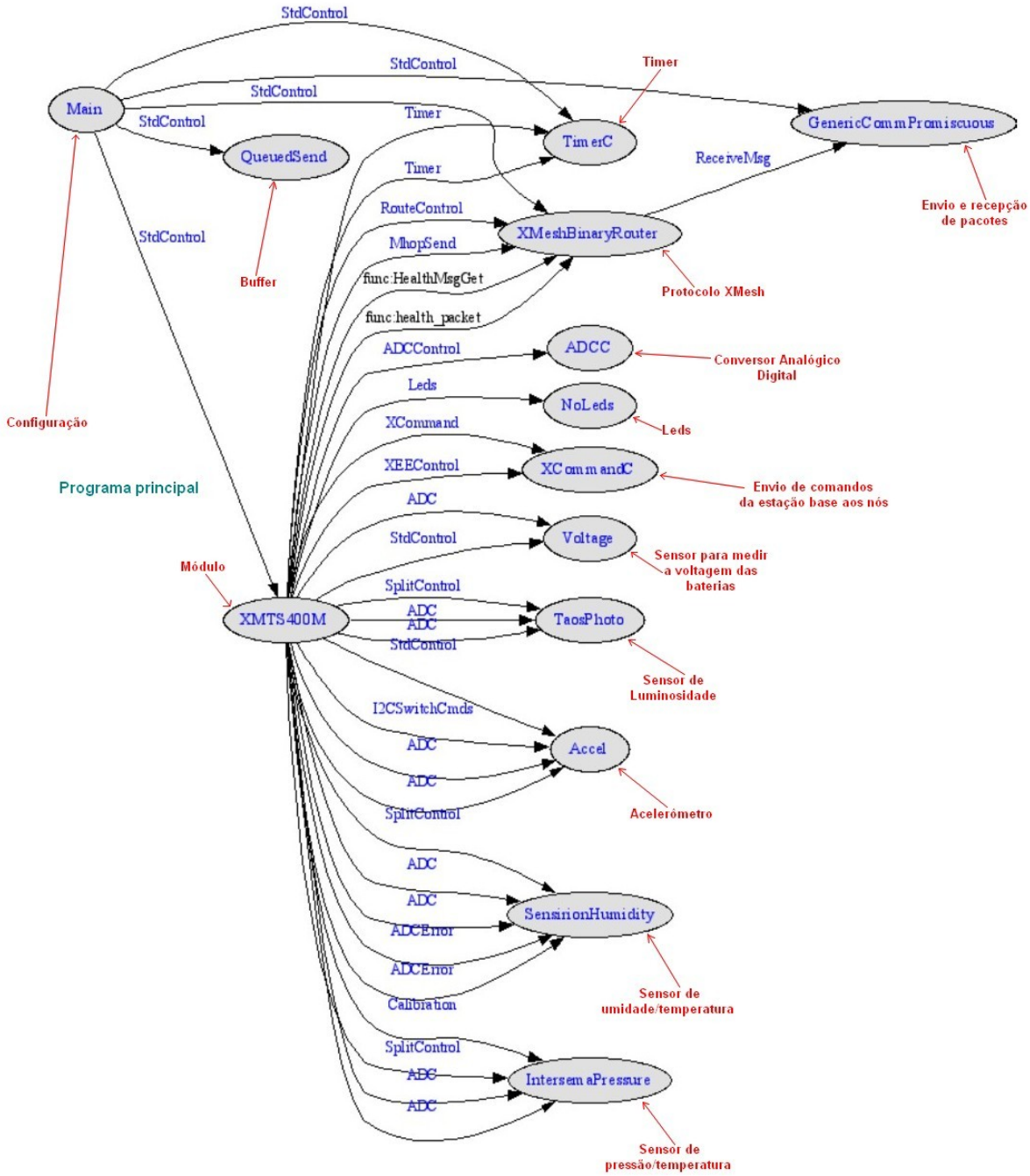


Figura 20 - Diagrama de componentes do aplicativo XMTS400.

4.2.2.5 Aplicativo utilizado para avaliar a qualidade do enlace entre o nó e a estação base

O sistema operacional TinyOS 1.1.14 disponibiliza um aplicativo para avaliar a qualidade do enlace entre um nó e a estação base, que é o Pong (PONG, 2010). Este aplicativo foi desenvolvido em NesC e permite a coleta de dois tipos de dados: o indicador de intensidade de sinal recebida (RSSI) e o indicador de qualidade de enlace (LQI). Na Figura 21 apresenta-se o diagrama de componentes do Pong, gerado utilizando o comando “make micaz docs” no *shell* do Cygwin, dentro desses componentes podem ser citados: o programa principal (módulo e configuração), os recursos (*timer* e *leds*) e o GenericComm (para envio e recepção dos pacotes de dados).

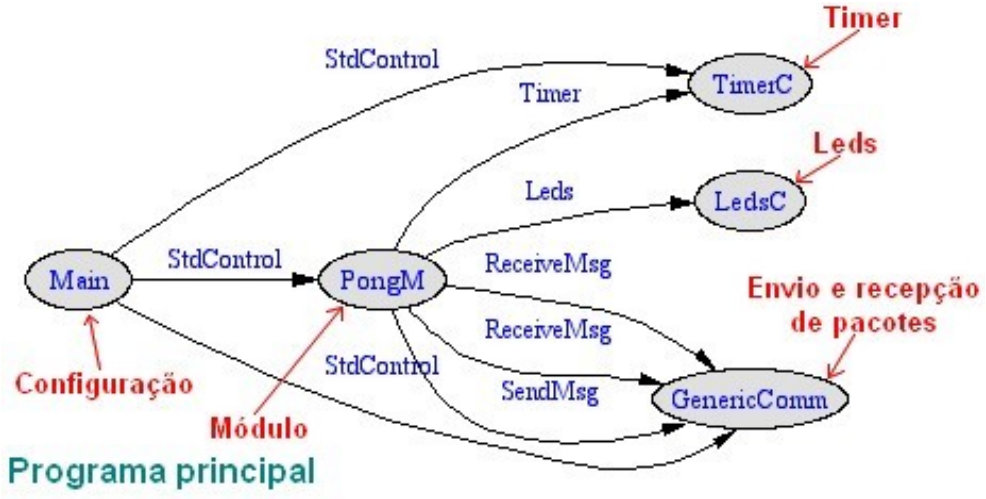


Figura 21 - Diagrama de componentes do aplicativo Pong.

Na Figura 22 é mostrada a interface do aplicativo Pong, na qual visualizam-se os dados de RSSI e LQI de ambos os dispositivos que participam na comunicação (nó fonte e destino); para isso, é necessário instalar o aplicativo em um nó sensor e na estação base. Para a visualização dos valores de RSSI e LQI é utilizada uma ferramenta desenvolvida em Java que vem junto com o aplicativo, acessada por meio do comando “java PingPong” no *shell* do Cygwin.

Figura 22 - Interface do aplicativo Pong.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS CENÁRIOS EXPERIMENTAIS

4.3.1 Ambiente interno: sala do LAA

Alguns dos experimentos foram realizados no LAA, localizado na sala C1 – 09, prédio de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Esta sala tem um comprimento de 7,80 m e uma largura de 2,95 m. Na Figura 23 é mostrada a planta da sala do LAA e na Figura 24, uma fotografia da mesma.

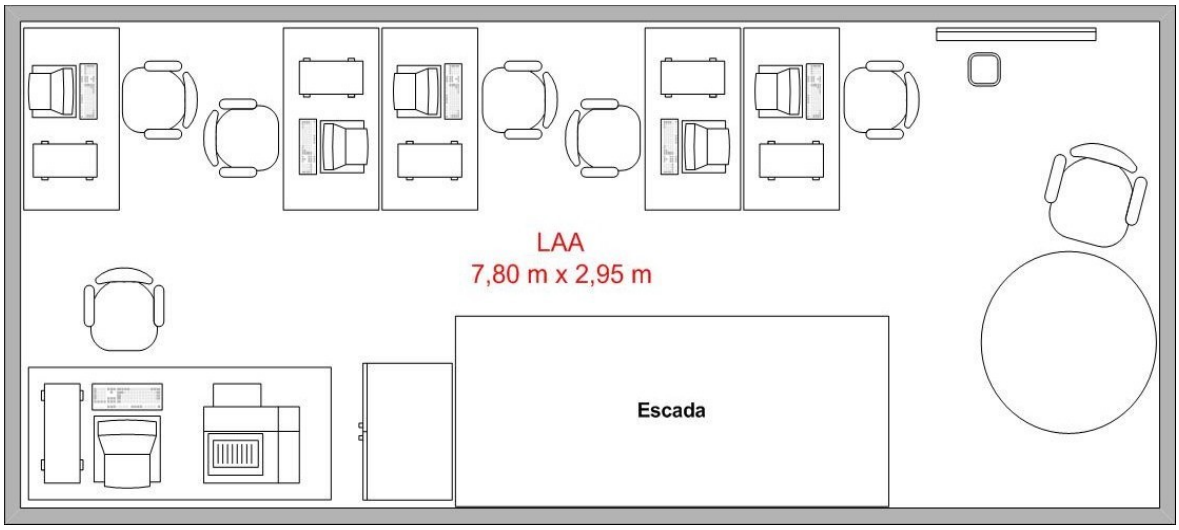


Figura 23 - Planta da parte superior da sala do LAA.

Figura 24 - Sala da parte superior do LAA.

4.3.2 Ambiente externo: parreiral cultivado sob cobertura plástica

4.3.2.1 Localização

Os experimentos foram realizados em um parreiral de propriedade do Sr. José Milani, localizado no Vale dos Vinhedos, município de Bento Gonçalves, região ecoclimática do Planalto Superior, serra do nordeste do estado do Rio Grande do Sul. As coordenadas geográficas correspondentes são: latitude 29º12'S, longitude 51°32'W e altitude média de 603 m. Na Figura 25 é apresentada uma imagem de satélite do campo experimental, obtida no Google Earth (GOOGLE EARTH, 2010).

Figura 25 - Imagem de satélite do campo experimental no Vale dos Vinhedos, Bento Gonçalves, RS. Extraído de Google Earth (2010).

No momento da realização dos experimentos, o parreiral tinha seis anos de idade, com plantas de *Vitis vinifera*, cultivar Itália, enxertadas sobre o porta-enxerto SO4. As mudas foram plantadas com espaçamento de 1,8 m entre plantas e 3 m entre fileiras, perfazendo uma densidade de 1.852 plantas por hectare. A área do parreiral é de 1,8 ha, sendo que a área experimental considerada foi de 0,125 ha, com seis linhas de plantas de 67,30 m cada (como mostrado na Figura 26). A inclinação do terreno é de 15º, aproximadamente, cuja declividade é no sentido Sul – Norte. O sistema de condução utilizado é em latada, sendo a altura do dossel em relação ao solo de 2,10 m.

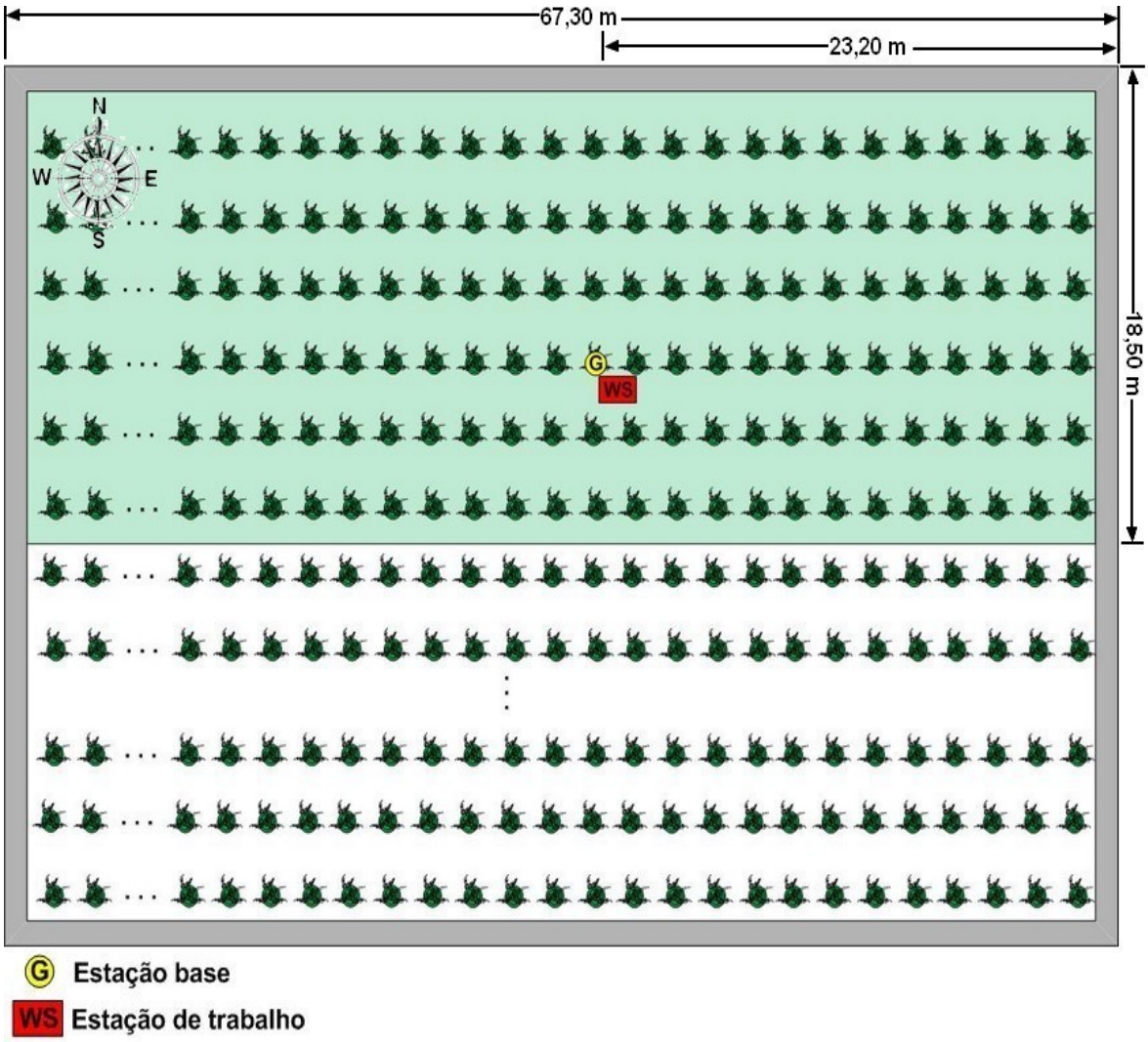


Figura 26 - Área do parreiral experimental no Vale dos Vinhedos, Bento Gonçalves, RS.

O parreiral é cultivado sob cobertura plástica, composta por lonas plásticas de polipropileno (PP) trançado, transparente, impermeabilizados com polietileno de

baixa densidade (PEBD - 160 μm) e aditivos anti-UV e antigotejo. Os experimentos foram realizados durante o período de maturação das uvas na safra 2009/2010, entre os meses de janeiro e fevereiro. Na Figura 27 apresentam-se algumas fotografias tiradas no campo experimental.

Figura 27 - Parreiral cultivado sob cobertura plástica no Vale dos Vinhedos, Bento Gonçalves, RS.

Uma das razões da escolha desse campo experimental foi a possibilidade de realizar os experimentos planejados sem maiores riscos ambientais, que pudessem danificar a RSSF experimental utilizada.

4.3.2.2 Cultivar instalada no parreiral: Itália

O nome da cultivar Itália foi dado por Alberto Pirovano, em 1927, e deve-se ao resultado do cruzamento entre Bicane e Moscatel de Hamburgo. Existe controvérsia em relação à introdução desta variedade no Brasil, sendo que a sua expansão na viticultura brasileira iniciou-se no ano 1942, quando passou a ser cultivada comercialmente em Ferraz de Vasconcelos, município do estado de São Paulo. A sua expansão cresceu até ser considerada como a uva fina de mesa mais plantada no Brasil. Atualmente, a produção está concentrada nos estados de São Paulo, Paraná e Minas Gerais e no Vale do Submédio São Francisco. Dentre as características desta cultivar, destacam-se: sua constante produtividade, cachos grandes e compactos e, bagas grandes, ovaladas, de coloração branco-dourada e tênue sabor moscatel (SOUSA, 2002). Na Figura 28 pode-se ver o estado das videiras da cultivar Itália no período que foram realizados os experimentos (maturação).

Figura 28 - Cultivar Itália no seu período de maturação.

4.3.2.3 Projeto que vem sendo desenvolvido pela Embrapa Uva e Vinho no campo experimental

No parreiral utilizado para realizar o experimento, a Embrapa Uva e Vinho vem conduzindo uma pesquisa sobre o uso de água em parreirais cultivados sob cobertura plástica, cujo objetivo é definir um critério de irrigação para este tipo de cultivo. O uso da cobertura plástica levou aos agricultores a adotar sistemas de irrigação, porém sem um critério específico, como foi detalhado pelo Dr. Henrique Pessoa dos Santos, pesquisador da área de Fisiologia Vegetal da Embrapa Uva e Vinho. O trabalho intitulado “Mecanismos de adaptação ecofisiológica, consumo de água e respostas agronômicas das videiras em cultivo protegido sob diferentes regimes hídricos” vem sendo conduzido pelo doutorando Leonardo Cury da Silva, coorientado do Dr. Santos (Figura 29).

A essência do trabalho é definir as relações hídricas nas videiras sob áreas cobertas. Para tal finalidade, foram instalados sensores que permitem caracterizar o microclima e monitorar a água no solo, na planta e na atmosfera e, por meio de avaliações periódicas das plantas, procura-se estabelecer uma relação do comportamento da videira frente às condições avaliadas. Definiram-se, como tratamentos hídricos, quatro diferentes frequências de irrigação (informação verbal)[22]. O trabalho teve início em meados de setembro de 2009, com previsão de conclusão para março de 2011.

---

22 Informação verbal fornecida pelo Dr. Henrique Pessoa dos Santos (pesquisador da Embrapa Uva e Vinho) e pelo Msc. Leonardo Cury da Silva (Doutorando em Fitotecnia da UFRGS/Embrapa), em reunião na sede da Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS, em 11/01/2010.

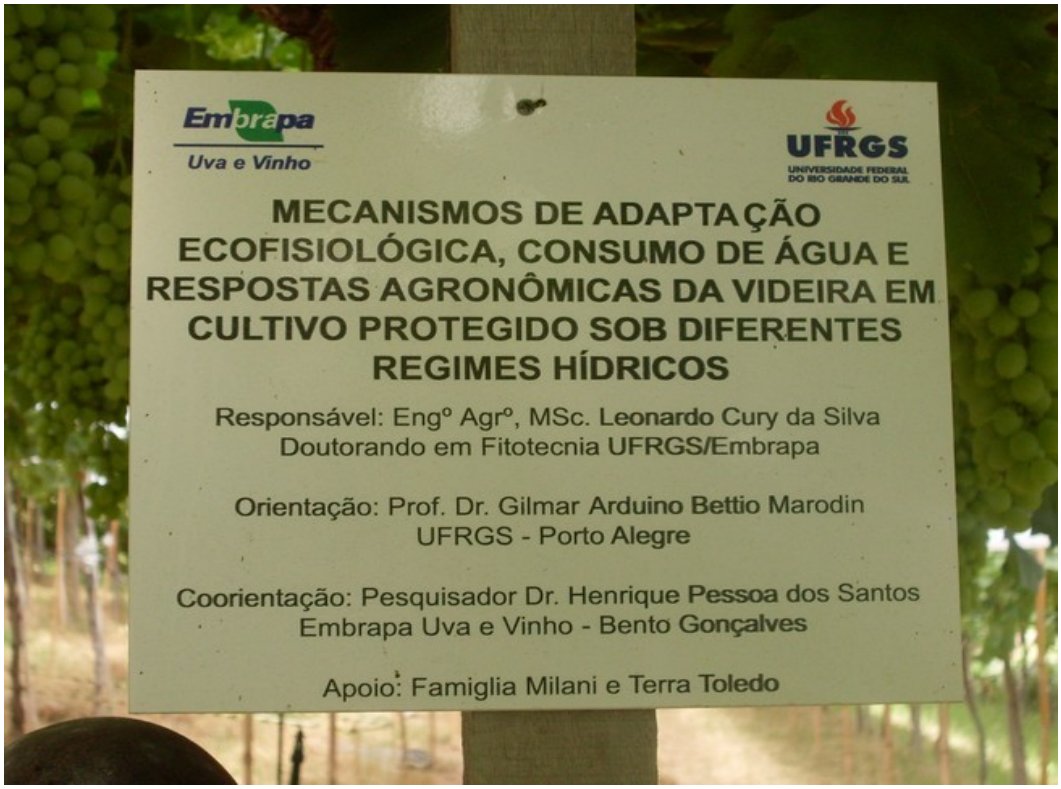


Figura 29 - Projeto da Embrapa Uva e Vinho conduzido no parreiral experimental.

Os sensores que vêm sendo utilizados nesse projeto são: psicrômetros (para medir a temperatura do ambiente e a umidade relativa do ar), de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), TDR (para umidade do solo), anemômetros (para velocidade do vento), mini tanque classe A (para evaporação da água), medidor de fluxo de seiva e lisímetros (para medir a evapotranspiração). Os diferentes sensores, instalados no projeto da Embrapa Uva e Vinho, são mostrados na Figura 30.

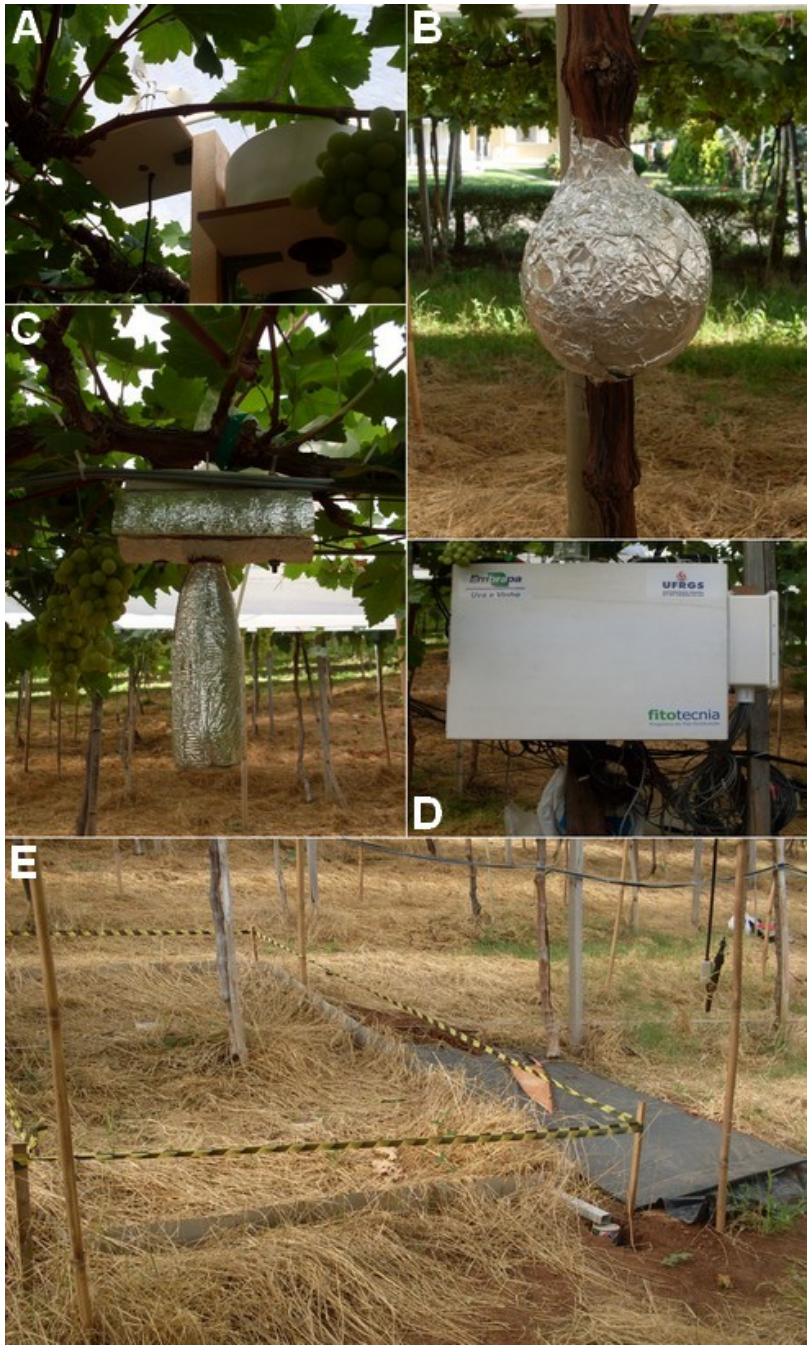


Figura 30 - Sensores utilizados no projeto da Embrapa Uva e Vinho: mini tanque classe A e anemômetro (A), medidor de seiva (B), psicrômetro (C), *data logger* para armazenamento dos dados (D) e, TDR e lisímetro (E).

4.4 INFRAESTRUTURA DESENVOLVIDA PARA REALIZAR OS EXPERIMENTOS

No parreiral foi montada a arquitetura apresentada na Figura 31, que

permitiu avaliar o alcance de conectividade entre o nó e a estação base, o desempenho da rede como uma ferramenta de monitoramento ambiental e a coleta de dados ambientais. Para o funcionamento dos nós (plataforma MICAz com placa sensora MTS400) foi instalado o aplicativo XMTS400. Na estação base MIB520, conectada ao computador pela interface USB, foi instalado o aplicativo XMeshBase, permitindo a comunicação entre a RSSF e o computador. No computador foi instalado o software MoteView 2.0F para o gerenciamento dos dados (armazenamento no banco de dados PostgreSQL e sua visualização na tela do computador). Para a programação e configuração dos nós foi instalado o software MoteWorks 2.0, sendo acessado por meio do Cygwin.

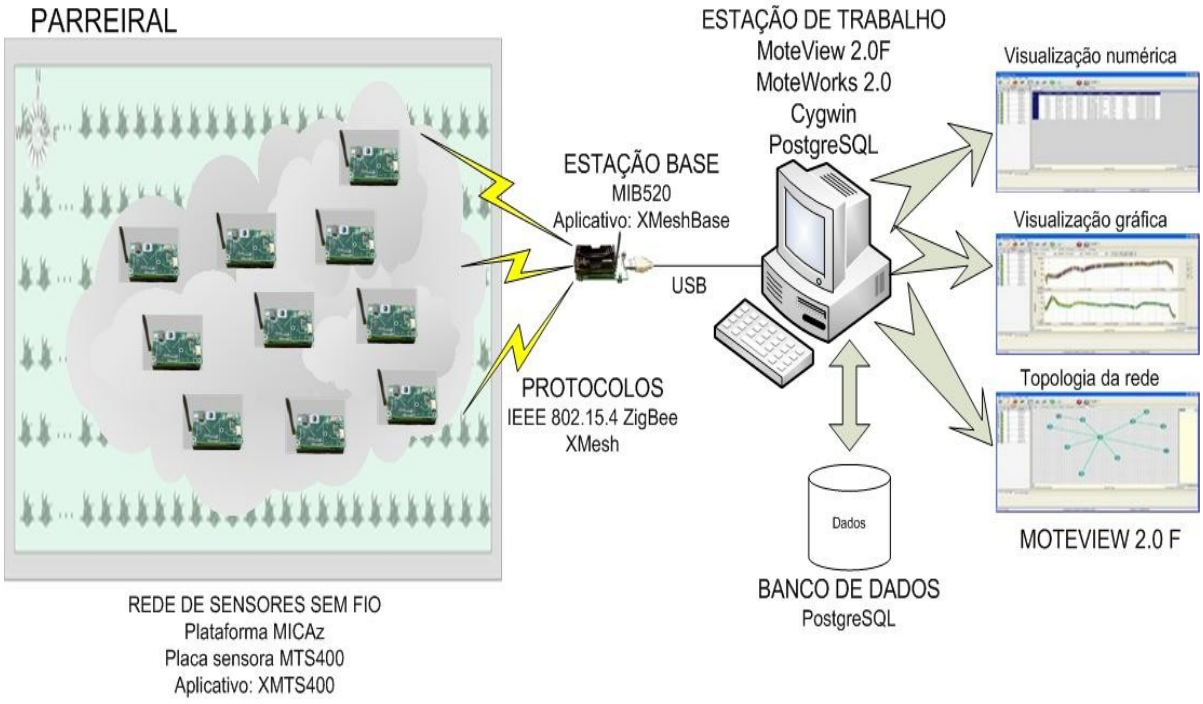


Figura 31 - Arquitetura montada no parreiral para o monitoramento de dados ambientais.

Para a coleta dos dados de RSSI e LQI, de forma que seja possível avaliar a qualidade do enlace entre o nó e a estação base, foi montada a arquitetura mostrada na Figura 32. Tanto no nó como na estação base MIB520 foi instalado o aplicativo Pong, enquanto que no computador foi instalado o TinyOS 1.1.14 para a programação do nó e a estação base, sendo acessado por meio do Cygwin. A visualização dos dados (RSSI e LQI) foi realizada no *shell* do Cygwin utilizando a aplicação PingPong, desenvolvida em Java.

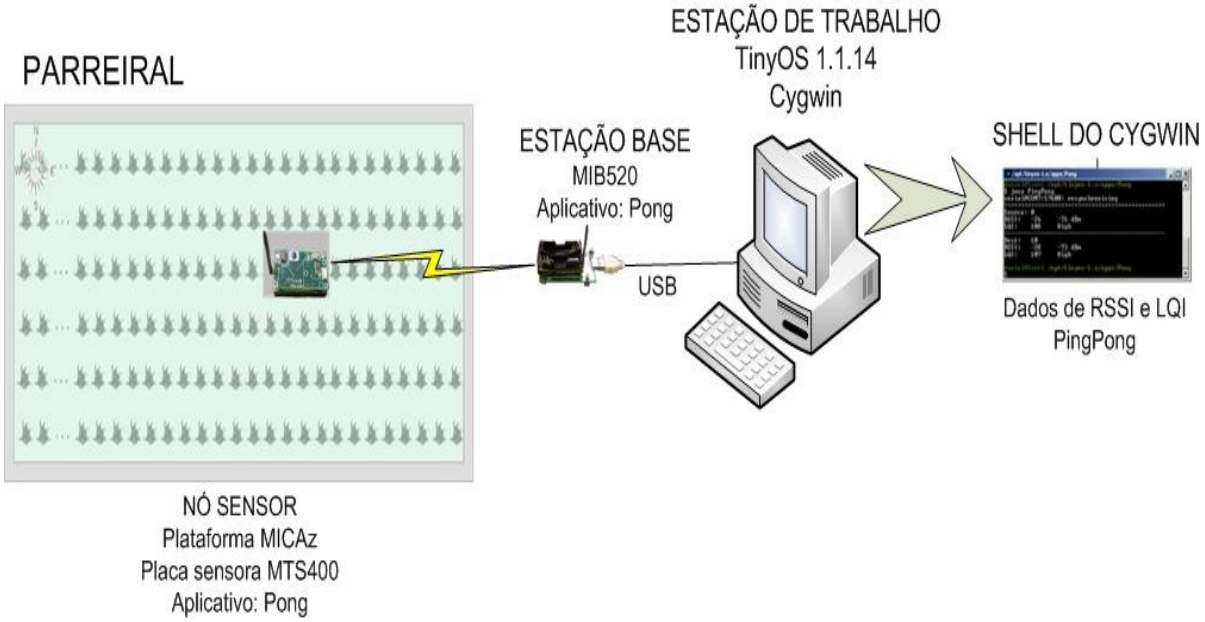


Figura 32 - Arquitetura montada no parreiral para avaliar a qualidade do enlace entre o nó e a estação base.

4.5 EXPERIMENTOS REALIZADOS

Neste item estão descritos os diferentes experimentos realizados na sala do LAA e, principalmente, no parreiral experimental em Bento Gonçalves, RS. O objetivo foi avaliar o funcionamento da rede no ambiente estudado, sendo considerados os seguintes aspectos: alcance de conectividade e qualidade do enlace entre os nós e a estação base, desempenho da rede e exatidão dos dados; foram realizados também experimentos para avaliar a variabilidade das condições ambientais no parreiral, considerando a localização espacial na área e a posição (alturas) nas videiras.

4.5.1 Experimento 1: Avaliar a exatidão dos dados coletados pela RSSF em relação a um equipamento de maior precisão

A placa sensora MTS400/MTS420 possui dois sensores que permitem coletar valores de temperatura: o Sensirion SHT11, para coleta de dados de umidade relativa/temperatura, e o Intersema MS5534AM, para coleta de dados de pressão atmosférica/temperatura. Para avaliar a exatidão dos dados, coletados pela

placa sensora MTS400/MTS420 (umidade relativa do ar e temperatura ambiental), foi realizado um experimento na sala do LAA, objetivando determinar o sensor de temperatura a ser considerado (Sensirion SHT11 ou Intersema MS5534AM) e determinar um fator de ajuste que permita atenuar a variabilidade existente entre as leituras das placas sensoras.

Para realizar o experimento, como referência, foi utilizado um equipamento de maior precisão que a dos sensores da placa MTS400/MTS420 (HOBO Pro v2). Este equipamento tem sensores (temperatura e umidade relativa) e um *data logger* integrados (MICRODAQ, 2010). A precisão do HOBO Pro v2 é +/-0,2 ºC (sensor de temperatura) e +/- 2,5% (sensor de umidade relativa), enquanto que a precisão dos sensores da placa MTS400/MTS420 é +/- 2 ºC (sensor de temperatura) e +/- 3,5 (sensor de umidade relativa) para o Sensirion SHT11, e +/-2 ºC (sensor de temperatura) para o Intersema MS5534AM (MTS400, 2010).

Para realizar o experimento foram utilizados os dez nós disponíveis (nove plataformas MICAz com placa sensora MTS400 e uma plataforma MICAz com placa sensora MTS420) e o HOBO Pro v2. A coleta dos dados foi realizada durante 96 h ininterruptas, considerando-se um intervalo de amostragem de 5 min, sendo utilizado o protocolo XMesh no modo de operação LP. Os dez nós foram posicionados dentro de uma caixa junto ao HOBO Pro v2, procurando garantir a menor influência do ambiente na coleta de dados (como mostrado na Figura 33). A estação base foi posicionada ao lado do computador, a uma distância de 1,0 m da caixa.

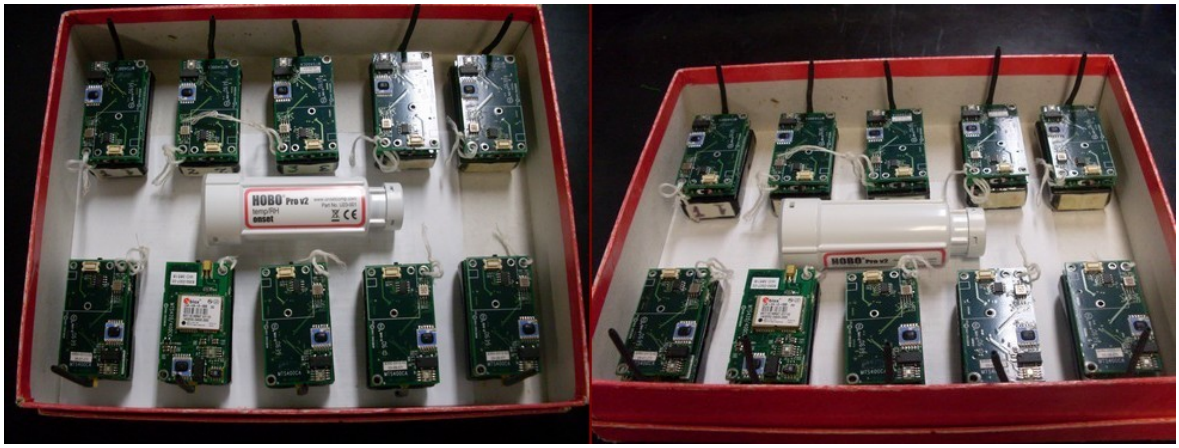


Figura 33 - Nós da RSSF e HOBO Pro v2 posicionados dentro da caixa.

4.5.2 Experimento 2: Alcance de conectividade entre os nós e a estação base

O objetivo deste experimento foi determinar o alcance máximo entre um nó e a estação base, considerando fatores como a altura na qual foram posicionados os nós (tronco, cacho e dossel da videira) e a potência de transmissão do sinal (considerando as potências disponíveis para o módulo de rádio da plataforma MICAz: 0, -1, -3, -5, -7, -10, -15 e -25 dBm), sendo as medições realizadas no sentido da linha das videiras. Utilizou-se o MoteView 2.0F para avaliar o alcance de conectividade entre o nó e a estação base, posicionada a 1,85 m do solo (na altura do cacho das videiras), ao lado da estação de trabalho. Na Figura 34 é mostrada uma fotografia da estação base e da estação de trabalho instaladas no parreiral.

Figura 34 - Estação base (esquerda) e estação de trabalho (direita) no parreiral.

Como resultado dos experimentos, esperou-se obter distâncias referenciais para as potências de transmissão avaliadas, considerando as diferentes alturas nas quais foram realizadas as medições (tronco, cacho e dossel das videiras) e uma relação com o alcance máximo obtido em campo livre (sem interferências físicas entre os dispositivos da rede).

4.5.3 Experimento 3: Avaliação da qualidade do enlace entre o nó e a estação base

O objetivo deste experimento foi avaliar a qualidade do enlace entre um nó e a estação base, posicionados no parreiral, considerando os diferentes fatores existentes no ambiente e que podem produzir interferência na comunicação entre os dispositivos da rede (tronco, cacho, dossel das videiras, relevo do terreno e cobertura plástica).

Foi utilizado o aplicativo Pong, descrito no item 4.2.2.5, para coletar dados de RSSI e LQI (métricas consideradas para avaliar a qualidade do enlace), sendo configurados os nós na máxima potência de transmissão (0 dBm). As medições foram realizadas com distintas alturas, considerando diferentes distâncias entre os dispositivos, tanto no sentido da linhas de cultivo das videiras como perpendicularmente a elas:

- no tronco, a 1,30 m do solo;
- no cacho, a 1,85 m do solo;
- no dossel, a 2,10 m do solo.

Na Figura 35 apresenta-se um esquema de uma videira e as diferentes posiciones nas quais foram posicionados os nós da RSSF.

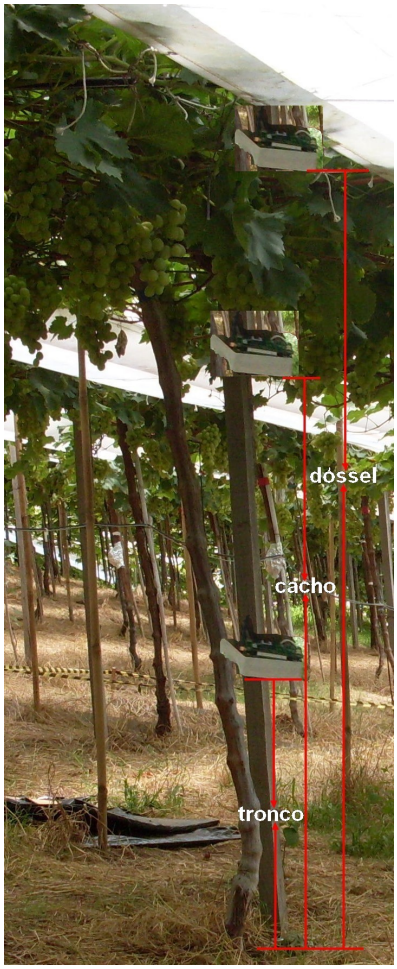


Figura 35 - Indicação das diferentes alturas onde foram posicionados os nós (tronco, cacho e dossel).

Da avaliação dos resultados deste experimento, esperou-se obter valores referenciais de RSSI e LQI, para diferentes alturas e distâncias no parreiral, que permitam determinar o melhor posicionamento dos nós, de forma que, seja possível maximizar o alcance de conectividade e minimizar a perda de pacotes de dados.

4.5.4 Experimento 4: Avaliação do desempenho da RSSF no parreiral

O objetivo deste experimento foi avaliar o desempenho da RSSF no parreiral, posicionada em duas diferentes alturas:

- no cacho, a 1,85 m do solo;
- no dossel, a 2,10 m do solo.

Adotaram-se como métricas: o número de pacotes perdidos e a qualidade de

enlace (transmissão e recepção). Foram realizados dois experimentos com a rede, constituída por dez nós (nove plataformas MICAz com placa MTS400 e uma plataforma MICAz com placa MTS420) e uma estação base (modelo MIB520). Os nós foram posicionados em duas alturas diferentes nas videiras: no cacho e no dossel, a 1,85 e a 2,10 m do solo respectivamente. Para ambos experimentos (nós posicionados no cacho e no dossel), a estação base ficou posicionada na altura dos cachos das videiras (1,85 m do solo). Considerando a declividade do terreno (15º), a distância entre linhas (3,00 m) e que os nós foram posicionados em linhas diferentes (Figura 36), observou-se uma variação de altura entre linhas de 0,80 m.

A configuração dos nós foi no modo de operação LP, na máxima potência de transmissão (0 dBm) e com intervalo de amostragem de 5 min, considerada como suficiente no monitoramento ambiental. O tempo de operação da rede foi de 135 h ininterruptas (experimento realizado na altura do dossel) e de 164 h ininterruptas (experimento realizado na altura do cacho), sendo utilizado para o gerenciamento dos dados o software MoteView 2.0F. A distribuição dos nós no campo apresenta-se na Figura 36, e a distância entre os nós e a estação base na Tabela 3.

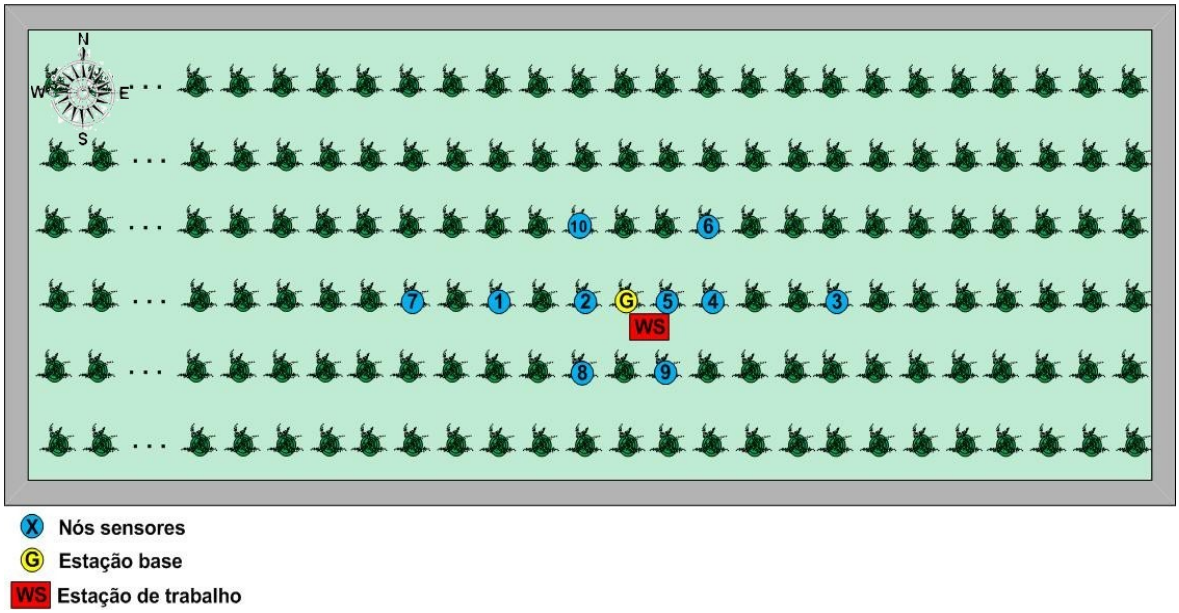


Figura 36 - Distribuição dos nós da rede no parreiral para ambos os experimentos realizados (no cacho e no dossel das videiras).

Tabela 3 - Distância entre os nós e a estação base.

Id do nó	Distância até a estação base (m)
Nó 1	6,60
Nó 2	2,60
Nó 3	14,90
Nó 4	6,90
Nó 5	3,70
Nó 6	7,89
Nó 7	10,20
Nó 8	3,50
Nó 9	4,61
Nó 10	3,40

Na Figura 37 podem-se ver as duas alturas nas quais foram posicionados os nós (cacho e dossel). Como medida de proteção das placas sensoras ante possíveis danos ambientais, orvalho por exemplo, os nós foram cobertos com um material plástico procurando gerar a menor influência na coleta dos dados (como mostrado no lado direito da Figura 37).

Esperou-se obter por meio dos experimentos realizados, valores relacionados ao desempenho da rede no parreiral (número de pacotes perdidos, indicadores de qualidade de enlace) que permitam avaliar a melhor altura para posicionar os nós (cacho ou dossel das videiras).

Figura 37 - Nós posicionados a duas diferentes alturas da videira (dossel e cacho).

4.5.5 Experimento 5: Avaliação da variabilidade microclimática no parreiral

O objetivo deste experimento foi verificar com a RSSF a existência da variabilidade microclimática, tanto espacialmente no parreiral como a diferentes

alturas da videira (cacho, dossel e acima do dossel).

Para o monitoramento das condições ambientais no parreiral (temperatura e umidade relativa do ar), de forma a se avaliar a variabilidade espacialmente, foram posicionados os dez nós disponíveis com a distribuição utilizada no Experimento 4 (Figura 36 e Tabela 3), descrita anteriormente no item 4.5.4. Os nós e a estação base foram posicionados na altura do dossel das videiras (1,85 m do solo). A configuração dos nós foi no modo de operação LP, na máxima potência de transmissão (0 dBm) e com intervalo de amostragem de 5 min. O tempo de operação da rede foi de 135 h ininterruptas, sendo utilizado, para o gerenciamento dos dados, o software MoteView 2.0F.

Para avaliar a variabilidade, em diferentes alturas da videira, foram utilizados três nós para realizar o experimento, considerando o monitoramento de três variáveis ambientais (temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade). Os nós foram posicionados no cacho (a 1,85 m do solo), no dossel (a 2,10 m do solo) e acima do dossel da videira (a 2,45 m do solo); em relação à estação base, os nós foram posicionados aproximadamente a 3 m de distância. A estação base foi fixada na altura do cacho da videira, a uma altura de 1,85 m do solo. A coleta de dados foi realizada durante um período de 40 h ininterruptas, com um intervalo de amostragem de 5 min. Foi utilizado o software MoteView 2.0F para gerenciamento dos dados. Na Figura 38 é mostrada a distribuição dos nós em diferentes alturas da videira.

Figura 38 - Nós posicionados a três diferentes alturas da videira para avaliar a variabilidade microclimática.

A análise dos dados, coletados em diferentes alturas da videira, permitiram

determinar se o sensor de luminosidade da placa MTS400 tem a sensibilidade necessária para ser utilizado em aplicações agrícolas. Da análise dos dados coletados, esperou-se também verificar a variabilidade espacial, no parreiral, considerando as diferenças das variáveis ambientais estudadas (temperatura e umidade relativa do ar) nos contrastes de altura de posição nas videiras.

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO PRESENTE CAPÍTULO

Neste capítulo apresentou-se a metodologia aplicada para o desenvolvimento dos experimentos, que permitiram avaliar o desempenho da RSSF no parreiral. Foram descritos os cenários experimentais (sala do LAA e parreiral experimental no Vale dos Vinhedos, Bento Gonçalves, RS), o hardware e software utilizados, a infraestrutura desenvolvida para conduzir os experimentos e os diferentes experimentos realizados em ambos os cenários, para os diferentes aspectos estudados (alcance de conectividade, qualidade do enlace, desempenho da rede, exatidão dos dados e variabilidade microclimática no parreiral, tanto espacial como a diferentes alturas das videiras).

Os dados obtidos nos experimentos são apresentados e discutidos no Capítulo 5.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

São apresentados os resultados obtidos nos diferentes experimentos realizados, descritos no capítulo anterior (item 4.5) em ambos os cenários experimentais: sala do Laboratório de Automação Agrícola (LAA) e parreiral cultivado sob cobertura plástica (localizado no Vale dos Vinhedos, RS).

5.1 EXPERIMENTO 1: AVALIAR A EXATIDÃO DOS DADOS COLETADOS PELOS NÓS DA RSSF EM RELAÇÃO A UM EQUIPAMENTO DE MAIOR PRECISÃO (HOBO PRO V2)

5.1.1 Análise de exatidão entre as placas sensoras (MTS400/MTS420) e o HOBO Pro v2

Agruparam-se os dados de temperatura ambiental e umidade relativa do ar, coletados a cada 5 min, em intervalos de 30 min; sendo considerada a média como o valor representativo para esse conjunto de dados. Para a temperatura, analisaram-se os dados coletados pelo sensor Sensirion SHT11 (umidade relativa/temperatura) como pelo sensor Intersema MS5534AM (pressão atmosférica/temperatura) das placas MTS400 e MTS420, realizando-se comparações para determinar sua proximidade com os dados coletados pelo HOBO Pro v2, utilizado como equipamento de referência.

Devido a problemas percebidos no sensor Sensirion SHT11 da placa do nó 5 e no sensor Intersema MS5534AM das placas dos nós 1 e 8, produzindo leituras errôneas nos dados coletados por esses sensores, não foram considerados na análise.

5.1.1.1 Análise de exatidão entre os dados de temperatura

Foi calculada a diferença dos dados de temperatura coletados pelos nós (sensores Sensirion SHT11 e Intersema MS5534AM) em relação ao HOBO Pro v2, uma vez obtidas essas diferenças, calculou-se a média aritmética e o desvio padrão. Na Figura 39 são mostrados os dados de temperatura ambiental, coletados pelo sensor Sensirion SHT11 e pelo HOBO Pro v2 durante um período de 96 h ininterruptas.

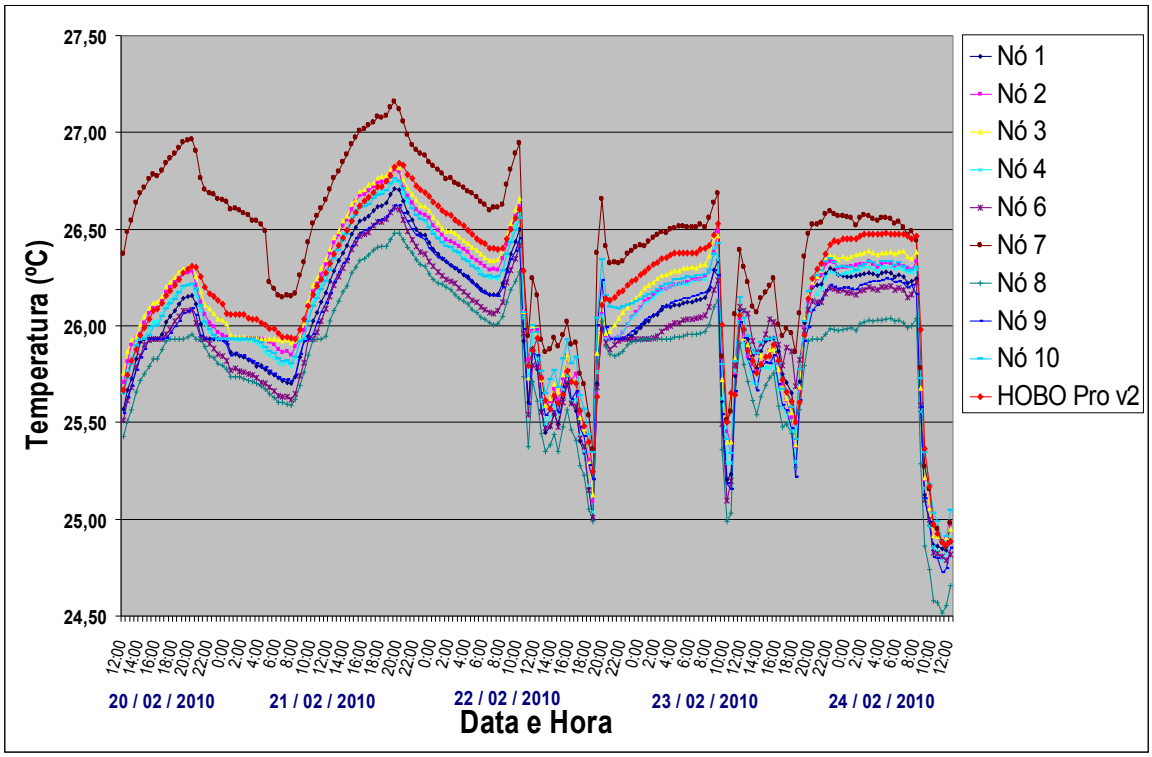


Figura 39 - Dados de temperatura ambiental coletados pelos nós (sensor Sensirion SHT11) e pelo HOBO Pro v2 durante um período de 96 h ininterruptas.

Na Figura 40 é mostrada a diferença entre os dados coletados pelos nós (sensor Sensirion SHT11) e pelo HOBO Pro v2. A partir dessa figura, pode-se ver que os dados que apresentaram maior diferença em relação ao HOBO Pro v2 são os coletados pelas placas dos nós 7 (com placa MTS420) e 8.

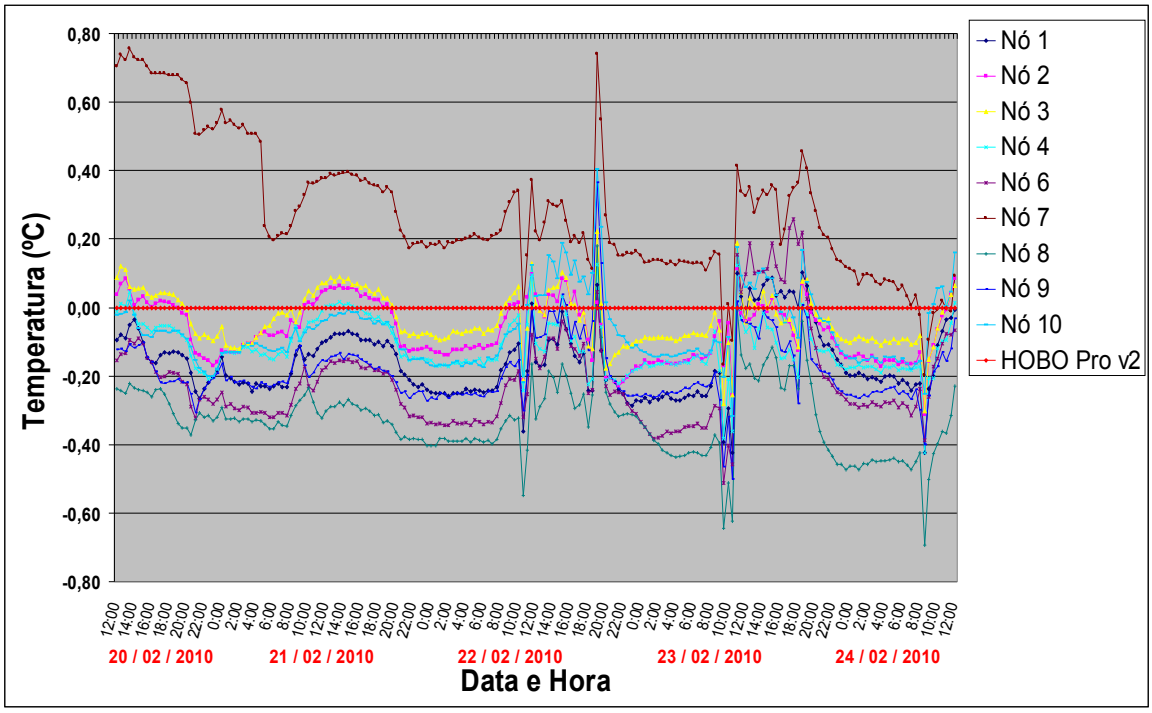


Figura 40 - Diferença entre os dados de temperatura coletados pelos nós (sensor Sensirion SHT11) e pelo HOBO Pro v2 durante um período de 96 h ininterruptas.

Na Figura 41 são mostrados os dados de temperatura ambiental coletados pelos nós (sensor Intersema MS5534AM) e pelo HOBO Pro v2 durante um período de 96 h ininterruptas.

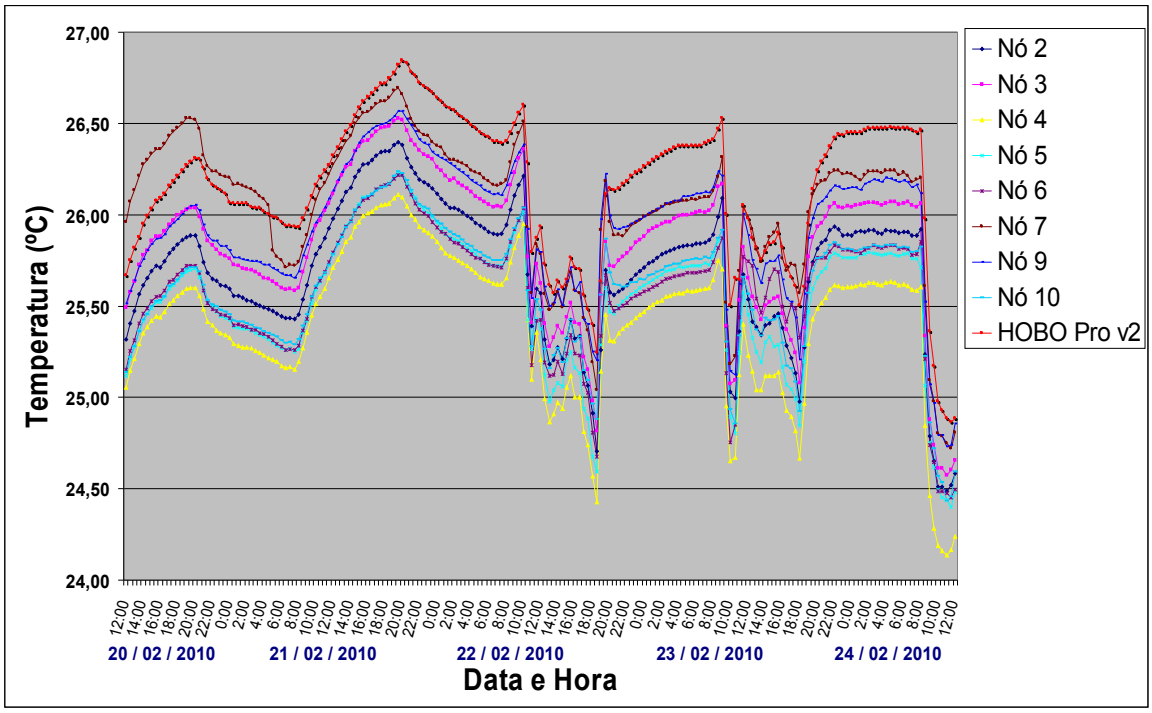


Figura 41 - Dados de temperatura ambiental coletados pelos nós (sensor Intersema MS5534AM) e pelo HOBO Pro v2 durante um período de 96 h ininterruptas.

Na Figura 42 apresenta-se a diferença entre os dados coletados pelo sensor Intersema MS5534AM da placa MTS400/MTS420 dos nós e pelo HOBO Pro v2.

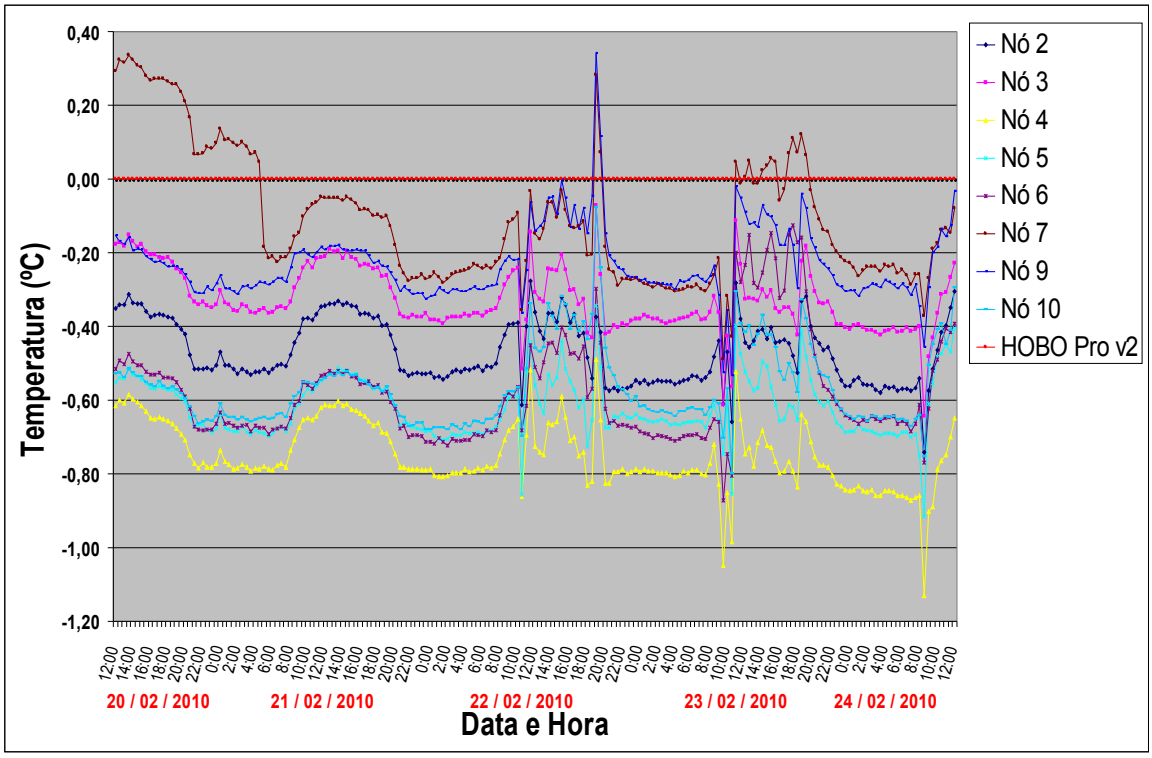


Figura 42 - Diferença entre os dados de temperatura coletados pelos nós (sensor Intersema MS5534AM) e pelo HOBO Pro v2 durante um período de 96 h ininterruptas.

Os dados de temperatura do sensor Intersema MS5534AM do nó 7 (com placa sensora MTS420) apresentaram um melhor comportamento, comparados aos dados coletados pelo sensor Sensirion SHT11, com uma menor diferença em relação ao HOBO Pro v2. Na Tabela 4 são mostrados a média aritmética e o desvio padrão das diferenças calculadas entre os dados de temperatura ambiental coletados pelos dez nós utilizados (sensores Sensirion SHT11 e Intersema MS5534AM) em relação ao HOBO Pro v2.

Tabela 4 - Média aritmética e desvio padrão das diferenças dos dados de temperatura coletados pelos nós (sensores Sensirion SHT11 e Intersema MS5534AM) em relação ao HOBO Pro v2.

Nó sensor	Sensor Sensirion SHT11		Sensor Intersema MS5534AM	
	Média (ºC)	Desvio padrão (ºC)	Média (ºC)	Desvio padrão (ºC)
Nó 1	-0,16	0,10	----	----
Nó 2	-0,07	0,09	-0,47	0,09
Nó 3	-0,04	0,08	-0,33	0,09
Nó 4	-0,12	0,08	-0,75	0,09
Nó 5	----	----	-0,62	0,08
Nó 6	-0,21	0,14	-0,58	0,14
Nó 7	0,28	0,20	-0,11	0,18
Nó 8	-0,33	0,11	----	----
Nó 9	-0,19	0,09	-0,23	0,10
Nó 10	-0,07	0,10	-0,57	0,11

Para as médias aritméticas das diferenças entre os dados de temperatura coletados pelas placas dos nós (sensores Sensirion SHT11 e Intersema MS5534AM) e pelo HOBO Pro v2, observou-se que esta diferença foi menor para os dados coletados pelo sensor Sensirion SHT11 da placa MTS400. A placa sensora MTS420, utilizada pelo nó 7, apresentou uma menor diferença em relação ao HOBO Pro v2 para seu sensor Intersema MS5534AM; considerou-se para a placa MTS420, utilizar os dados de temperatura coletados por este sensor, entanto que, para a placa sensora MTS400 considerou-se utilizar o sensor Sensirion SHT11 para a coleta de dados de temperatura.

5.1.1.2 Análise de exatidão entre os dados de umidade relativa

Como no caso anterior, para avaliar a exatidão dos dados de umidade relativa, coletados pelo sensor Sensirion SHT11 das placas MTS400/MTS420 dos nós em relação ao HOBO Pro v2, foi calculada a diferença entre os dados coletados pelos nós e pelo HOBO Pro v2, posteriormente, obtiveram-se a média aritmética e o desvio padrão dessas diferenças. Na Figura 43 são mostrados os valores de umidade relativa coletados pelos nós (sensor Sensirion SHT11) e pelo HOBO Pro v2 durante um período de 96 h ininterruptas.

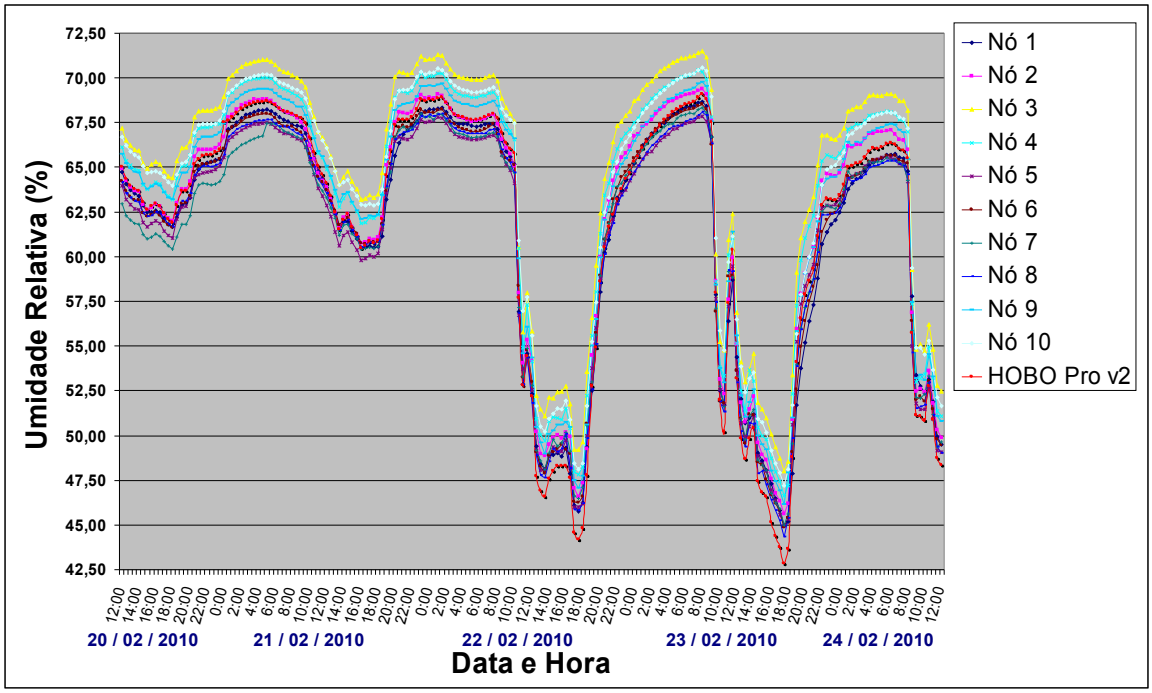


Figura 43 - Dados de umidade relativa coletados pelos nós (sensor Sensirion SHT11) e pelo HOBO Pro v2 durante um período de 96 h ininterruptas.

Na Figura 44 é mostrada a diferença entre os dados de umidade relativa coletados pelo sensor Sensirion SHT11 dos nós e pelo HOBO Pro v2. Percebeu-se certa variabilidade existente entre ambas as tecnologias, com diferenças tanto positivas como negativas.

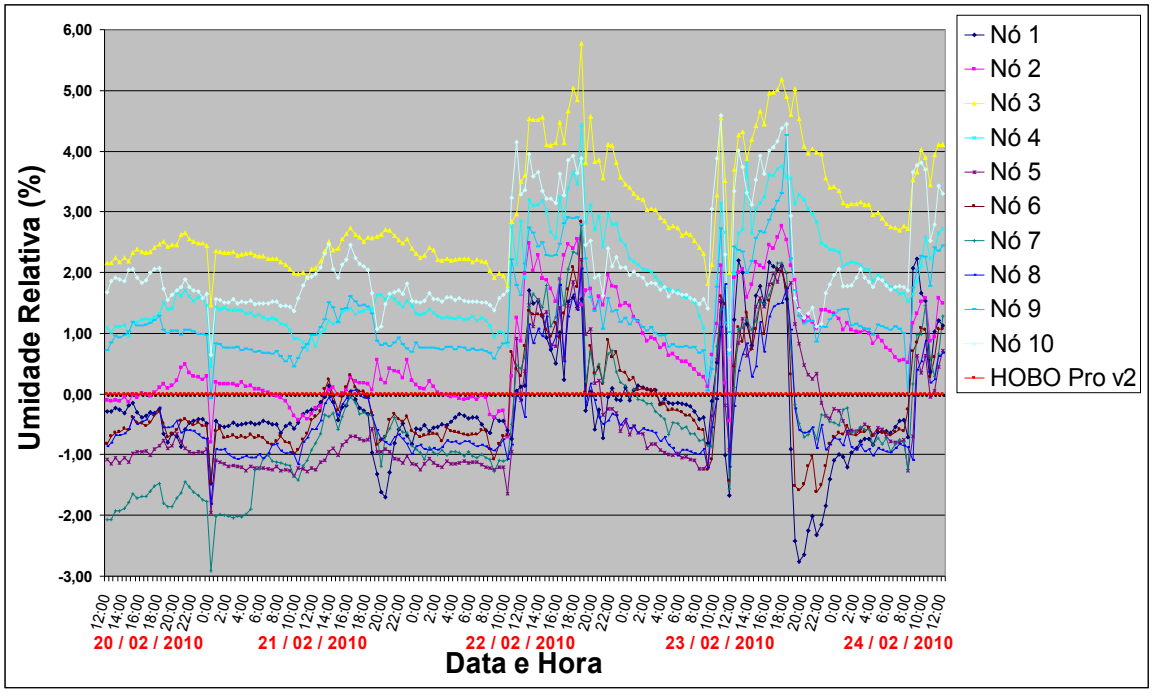


Figura 44 - Diferença entre os dados de umidade relativa coletados pelo sensor Sensirion SHT11 dos nós e pelo HOBO Pro v2 durante um período de 96 h ininterruptas.

Na Tabela 5 são mostrados a média aritmética e o desvio padrão das diferenças entre os dados de umidade relativa coletados pelo sensor Sensirion SHT11 da placa MTS400/MTS420 dos nós em relação ao HOBO Pro v2.

Tabela 5 - Média aritmética e desvio padrão das diferenças entre os dados de umidade relativa coletados pelos nós (sensor Sensirion SHT11) em relação ao HOBO Pro v2.

Nó sensor	Média (%)	Desvio padrão (%)
Nó 1	-0,19	0,94
Nó 2	0,71	0,83
Nó 3	3,00	0,90
Nó 4	1,88	0,81
Nó 5	-0,45	0,94
Nó 6	-0,15	0,84
Nó 7	-0,42	1,12
Nó 8	-0,39	0,74
Nó 9	1,29	0,71
Nó 10	2,13	0,85

5.1.1.3 Avaliação do experimento realizado

O experimento permitiu avaliar a exatidão dos dados coletados pelos sensores da placa MTS400/MTS420 (Sensirion SHT11 e Intersema MS5534AM) para a coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar. Para diminuir a variabilidade existente entre as placas sensoras considerou-se utilizar fatores de ajuste, mostrados na Tabela 6. Pela análise realizada, para a coleta de dados de temperatura, foi utilizado o sensor Sensirion SHT11 para os nós: 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9 e 10, enquanto que, para os nós 5 e 7 utilizou-se o sensor Intersema MS5534AM.

Tabela 6 - Fator de ajuste para atenuar a variabilidade existente entre as placas sensoras dos nós para coleta de temperatura ambiental e umidade relativa do ar.

Nó sensor	Temperatura Ambiental (ºC)	Umidade Relativa (%)
Nó 1	0,16	0,19
Nó 2	0,07	-0,71
Nó 3	0,04	-3,00
Nó 4	0,12	-1,88
Nó 5	0,62	0,45
Nó 6	0,21	0,15
Nó 7	0,11	0,42
Nó 8	0,33	0,39
Nó 9	0,19	-1,29
Nó 10	0,07	-2,13

Para os dados de temperatura, considerando ambos os sensores (Sensirion SHT11 e Intersema MS5534AM), observou-se um desvio padrão médio de +/- 0,11 ºC, sendo que os nós 2, 3, 4 (s = +/- 0,09) e nó 5 (s = +/- 0,08 ºC) apresentaram o menor desvio padrão, e o nó 7 (s = +/- 0,19 ºC), quem apresentou o maior desvio padrão.

Para os dados de umidade relativa, observou-se um desvio padrão médio de +/- 0,87%, sendo que os nós 8 e 9 (s = +/- 0,74% e +/- 0,71%, respectivamente) apresentaram o menor desvio padrão e o nó 7 (s = +/- 1,12%), quem apresentou o maior desvio padrão.

5.2 EXPERIMENTO 2: ALCANCE DE CONECTIVIDADE DO SINAL

As medições de alcance de conectividade entre o nó e a estação base apresentam-se resumidas na Tabela 7. Foram avaliadas as diferentes potências de transmissão disponíveis para programar o rádio da plataforma MICAz. Consideraram-se como valores referenciais, o alcance conseguido em campo livre[23] (sem interferências físicas entre o nó e a estação base, além das ambientais) para estabelecer uma relação com o alcance obtido no parreiral.

Tabela 7 - Alcance de conectividade do sinal entre a estação base e o nó, considerando as potências de transmissão disponíveis para programar o rádio da plataforma MICAz.

Potência de Transmissão (dBm)	**Alcance conseguido em campo livre (m)**	**Alcance conseguido no parreiral (m)**		
		Na altura do dossel (2,10 m do solo)	**Na altura do cacho (1,85 m do solo)**	**Na altura do tronco (1,30 m do solo)**
0	61,75	11,22	12,80	21,36
-1	59,20	9,20	12,30	19,55
-3	45,40	7,50	10,00	15,00
-5	33,20	6,45	8,80	10,00
-7	28,00	5,20	7,90	9,90
-10	26,80	3,40	6,40	8,40
-15	7,70	2,20	4,00	2,60
-25	2,25	1,00	2,15	2,15

23 Os dados de alcance de conectividade em campo livre utilizando a plataforma MICAz, apresentados na Tabela 7, foram considerados do relatório do trabalho de iniciação científica do aluno Lucas Barbosa Sacramone, Bolsista do CNPq/PIBIC 2008/2009.

Na Figura 45 pode-se ver que, para as potências de transmissão avaliadas, o menor alcance conseguido foi na altura do dossel das videiras, fato produzido pela maior presença de objetos no caminho do sinal (folhas, galhos, gavinhas, etc.). Da comparação do alcance conseguido na altura do cacho e do tronco, quando a potência de transmissão foi fixada em -15 dBm, resultou em um maior alcance na altura do cacho, que pode ter acontecido porque a estação base foi posicionada na altura do cacho das videiras.

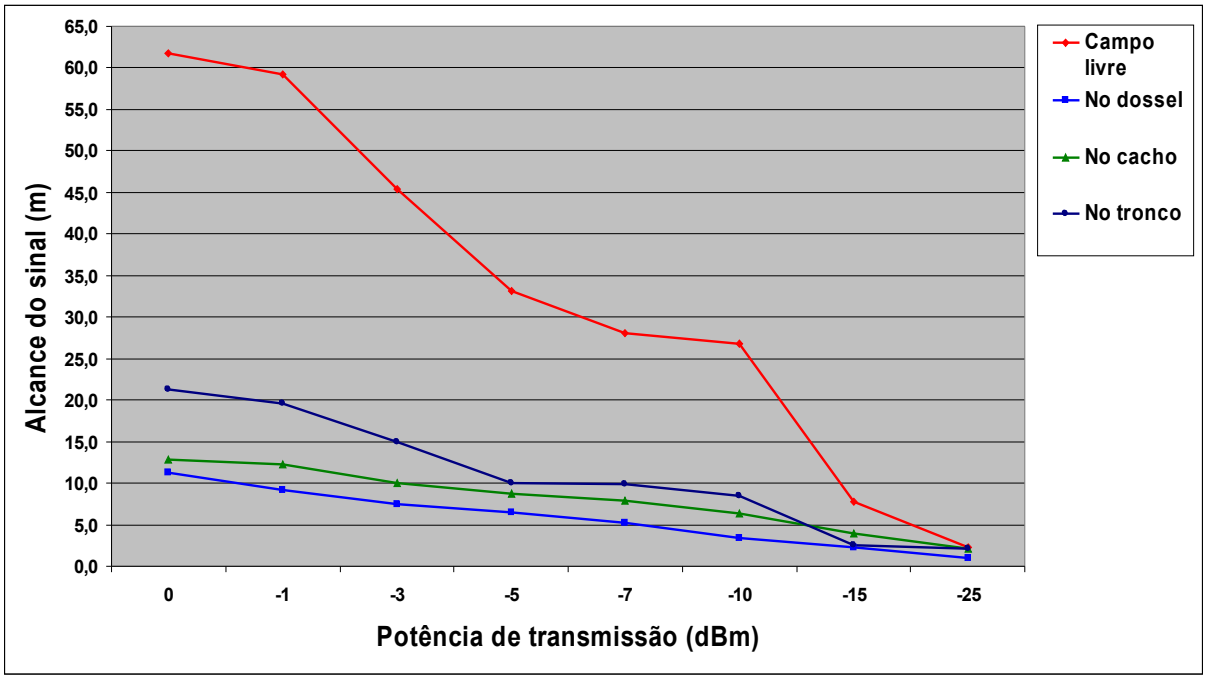


Figura 45 - Alcance de conectividade do sinal (m) entre os nós e a estação base para as diferentes potências de transmissão avaliadas (plataforma MICAz).

Na Tabela 8 apresenta-se o consumo de corrente para o transceptor CC2420, que faz parte da plataforma MICAz, em função do nível de saída e da potência de transmissão. O nível de saída, mostrado na Tabela 8, e a sua potência de transmissão correspondente são definidos no manual do fabricante do transceptor CC2420 (CC2420, 2010).

Tabela 8 - Corrente consumida pelo transceptor CC2420 em função do nível de saída e da potência de transmissão (CC2420, 2010).

Nível de saída	Potência de transmissão (dBm)	Corrente consumida (mA)
31	0	17,40
27	-1	16,50
23	-3	15,20
19	-5	13,90
15	-7	12,50
11	-10	11,20
7	-15	9,90
3	-25	8,50

A partir da Tabela 8 pode-se ver que a diferença de corrente consumida entre as potências de transmissão de 0 e -25 dBm é quase a metade, porém o alcance de conectividade conseguido no parreiral a partir de -10 dBm é bastante baixo para as necessidades. Para maximizar o alcance entre o nó e a estação base, adotou-se configurar os nós na máxima potência de transmissão (0 dBm).

5.2.1 Avaliação do experimento realizado

A comparação do alcance de conectividade conseguido no parreiral, em diferentes alturas nas plantas de videira, em relação ao obtido em campo livre (sem interferências físicas entre o nó e a estação base) foi menor na ordem de 67% (no tronco), 76% (no cacho) e 83% (no dossel), percebendo-se o efeito dos vegetais ao produzir uma redução no alcance de conectividade do sinal entre os dispositivos da rede. O interesse agrícola é monitorar as condições ambientais perto do dossel das videiras, porque o processo fotossintético é realizado nessa área (informação verbal)[24]. Uma solução que pode ser pensada para conseguir um maior alcance na comunicação entre os nós, já adotada pela MEMSIC no seu produto eko Pro Series System, é posicionar o transceptor de rádio no lugar que produza a menor interferência sobre ele, ligando-o aos seus sensores por meio de cabos.

---

24 Informação verbal fornecida pelo Dr. Henrique Pessoa dos Santos (pesquisador da Embrapa Uva e Vinho) e pelo M.Sc. Leonardo Cury da Silva (Doutorando em Fitotecnia da UFRGS/Embrapa), em reunião na sede da Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS, em 11/01/2010.

5.3 EXPERIMENTO 3: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ENLACE ENTRE O NÓ E A ESTAÇÃO BASE

Como descrito no item 4.5.3 do capítulo anterior, foram utilizadas duas variáveis métricas para avaliar a qualidade do enlace entre o nó e a estação base, quando posicionados no parreiral. As variáveis métricas consideradas foram o indicador de intensidade de sinal recebido (RSSI) e de qualidade de enlace (LQI), implementadas como parte do transceptor CC2420 (módulo de rádio do MICAz) (CC2420, 2010). Por meio dos experimentos constatou-se que, para uma maior distância entre o nó e a estação base, os valores do RSSI e do LQI têm uma tendência a diminuir, uma razão para isso é a presença de objetos ou barreiras físicas entre os dispositivos transmissor e receptor, ocasionando uma atenuação das ondas eletromagnéticas. Para interpretar os valores de LQI, obtidos nos experimentos, considerou-se os critérios descritos na Tabela 9, que se encontram detalhados em Roca (2008).

Tabela 9 - Níveis referenciais do índice de qualidade de enlace (alto, médio e baixo) e seus valores de correlação associados. Extraído de Roca (2008).

Nível	Valor
Alto	LQI >= 104
Médio	80 <= LQI < 104
Baixo	LQI < 80

5.3.1 Variabilidade entre os nós para coleta de dados de RSSI e LQI sob as mesmas condições

Considerando os dez nós disponíveis, realizou-se um experimento para determinar a variabilidade existente entre seus módulos de rádio. O aplicativo Pong (PONG, 2010), descrito no item 4.2.2.5, foi instalado nos dez nós e na estação base e foram coletados dados de RSSI e LQI sob as mesmas condições (nó e estação base posicionados a uma altura de 1,00 m do solo, separados a uma distância de 1,85 m e sem obstáculos entre eles). Realizaram-se cinco leituras para cada nó (consideradas como suficientes devido à pouca variabilidade entre os dados

coletados), calculando-se a média desses dados (tanto para o RSSI como para o LQI), a média global (média das médias obtidas por nó) e o desvio da média por nó em relação à média global. Os valores experimentais são mostrados na Tabela 10 (RSSI) e na Tabela 11 (LQI).

Tabela 10 - Valores de RSSI obtidos para os dez nós utilizados, média por nó, média global e desvio da média por nó em relação à média global.

Nó sensor	RSSI (dBm)					Média (dBm)	Média global (dBm)	Desvio em relação à média global (dBm)	Desvio Padrão
	1	2	3	4	5				
Nó 1	-64	-64	-64	-64	-64	-64	-63	-1	0,0
Nó 2	-61	-62	-62	-62	-62	-62	-63	1	0,4
Nó 3	-62	-62	-62	-62	-62	-62	-63	1	0,0
Nó 4	-62	-62	-62	-62	-62	-62	-63	1	0,0
Nó 5	-65	-64	-64	-65	-65	-65	-63	-2	0,5
Nó 6	-64	-64	-64	-64	-64	-64	-63	-1	0,0
Nó 7	-62	-63	-62	-62	-62	-62	-63	1	0,4
Nó 8	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-63	-2	0,0
Nó 9	-62	-62	-63	-62	-62	-62	-63	1	0,4
Nó 10	-62	-62	-62	-62	-62	-62	-63	1	0,0

Tabela 11 - Valores de LQI obtidos para os dez nós utilizados, média por nó, média global e desvio da média por nó em relação à média global.

Nó sensor	LQI					Média	Média global	Desvio em relação à média global	Desvio Padrão
	1	2	3	4	5				
Nó 01	108	108	108	108	108	108	108	0	0,0
Nó 02	108	107	108	108	108	108	108	0	0,4
Nó 03	107	107	107	107	107	107	108	-1	0,0
Nó 04	108	108	108	108	108	108	108	0	0,0
Nó 05	108	108	108	108	108	108	108	0	0,0
Nó 06	107	107	108	108	107	107	108	-1	0,5
Nó 07	106	108	107	108	106	107	108	-1	1,0
Nó 08	108	106	106	108	107	107	108	-1	1,0
Nó 09	108	108	108	108	108	108	108	0	0,0
Nó 10	108	107	107	107	107	107	108	-1	0,4

A partir dos dados experimentais obtidos, observa-se certa variabilidade entre os nós. O desvio padrão calculado desse conjunto de dados (tanto para o RSSI e o LQI) leva a considerar que esta variabilidade não é significativa. Em função desta baixa variabilidade, para os resultados que serão apresentados nos próximos itens foi utilizado somente o nó 3, que apresentou um desvio de 1 dBm em relação à média global para os valores de RSSI (Tabela 10), e -1 em relação à média global para os valores de LQI (Tabela 11).

A escolha do nó 3 foi realizada em forma aleatória a partir das dez possíveis opções.

5.3.2 Avaliação da qualidade do enlace entre o nó e a estação base posicionados no sentido da linha das videiras

Posicionaram-se o nó e a estação base na mesma altura para as medições realizadas na linha das videiras. No início, o nó foi localizado a uma distância de 1 m da estação base, afastando-o até perder a comunicação com a estação base. As distâncias avaliadas foram: 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 m, sendo as medições realizadas nas seguintes alturas:

- no tronco, a 1,30 m do solo;
- no cacho, a 1,85 m do solo;
- no dossel, a 2,10 m do solo.

Os valores do RSSI (média das cinco leituras realizadas) para as diferentes distâncias e alturas avaliadas são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores de RSSI obtidos nas diferentes alturas da videira, dependendo da distância entre o nó e a estação base (medições realizadas no sentido da linha das videiras).

Distância (m)	RSSI (dBm)		
	Tronco	Cacho	Dossel
1	-56	-60	-69
2	-63	-60	-79
3	-71	-84	-79
4	-74	-86	-86
5	-73	-86	-87
10	-78	-92	----
15	-80	-93	----
20	-80	----	----
25	-80	----	----
30	-82	----	----
35	-92	----	----
40	-92	----	----

Srinivasan e Levis (2006) realizaram uma avaliação experimental do

transceptor CC2420 (plataforma MICAz), determinando que quando o valor de RSSI é maior que -87 dBm, a taxa de recepção de pacotes é superior a 85% (considerando-se uma porcentagem aceitável). Na Figura 46 são apresentados, em forma gráfica, os valores de RSSI obtidos do experimento realizado, com uma linha pontilhada para RSSI = -87 dBm.

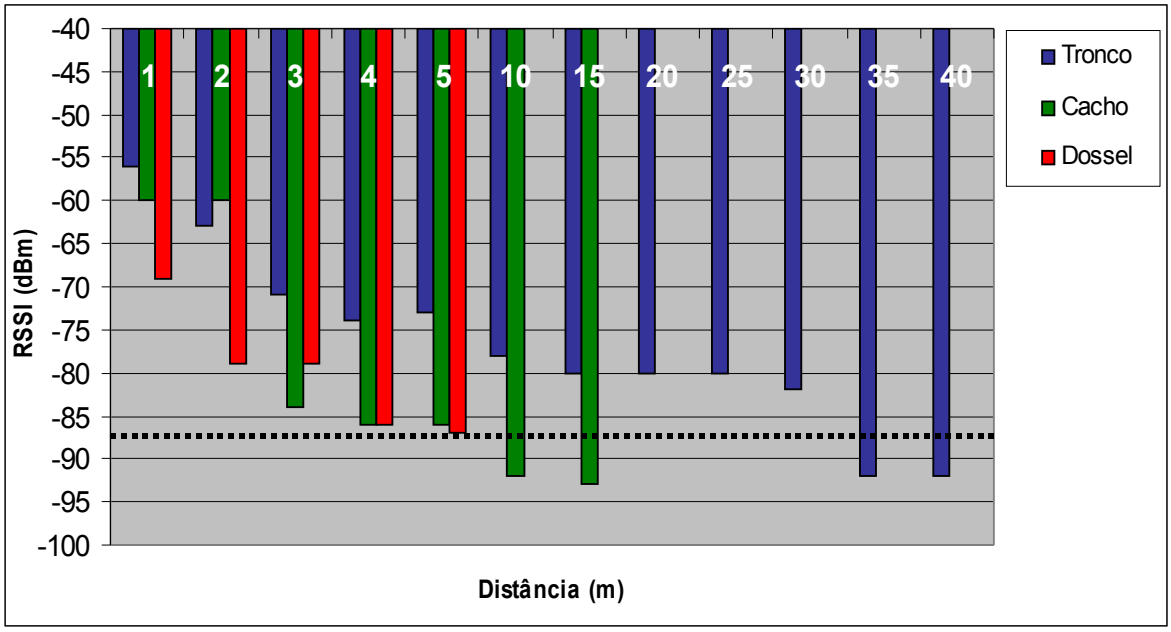


Figura 46 - Representação gráfica dos valores de RSSI obtidos a diferentes alturas da videira, dependendo da distância entre o nó e a estação base (medições realizadas no sentido da linha das videiras). Valores de RSSI superiores a -87 dBm (linha tracejada) apresentam uma taxa de recepção de pacotes de 85%.

Os valores de LQI, obtidos no sentido da linha das videiras, são apresentados na Tabela 13 para as diferentes distâncias e alturas avaliadas. Na Figura 47 é mostrada uma representação gráfica dos valores de LQI conseguidos no experimento, foi considerada uma linha pontilhada para o valor de LQI = 104, que representa um nível alto (em concordância com a Tabela 9).

Tabela 13 - Valores de LQI obtidos nas diferentes alturas da videira, dependendo da distância entre o nó e a estação base (medições realizadas no sentido da linha das videiras).

Distância (m)	LQI		
	Tronco	Cacho	Dossel
1	108	108	108
2	108	108	107
3	107	108	107
4	108	106	108
5	108	105	106
10	107	86	----
15	108	88	----
20	107	----	----
25	107	----	----
30	107	----	----
35	96	----	----
40	90	----	----

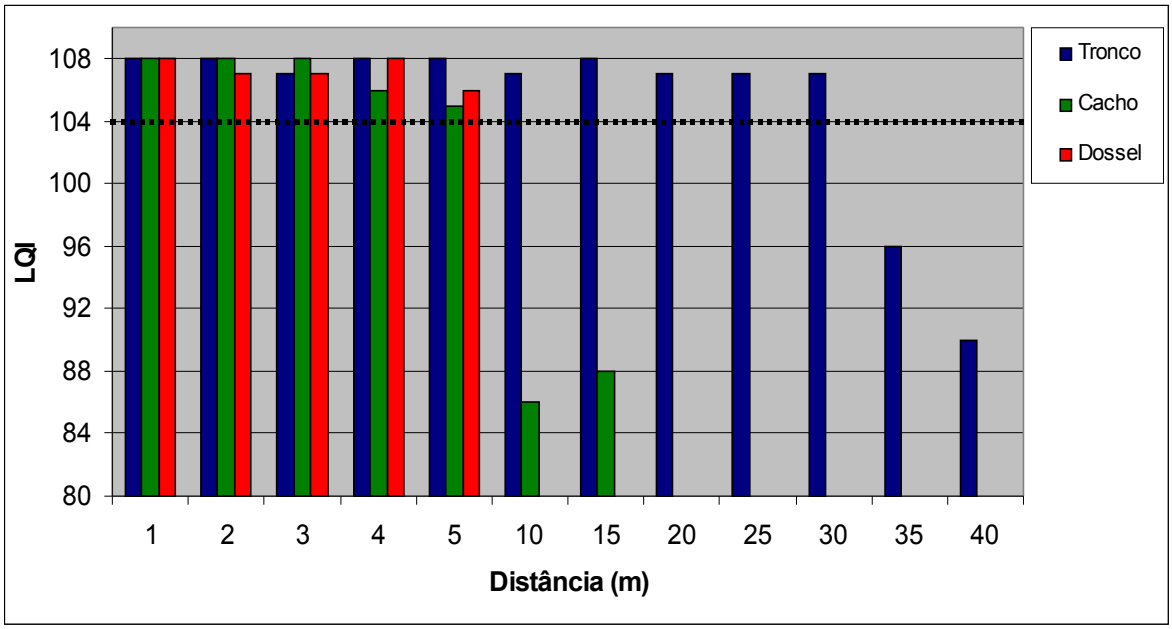


Figura 47 - Representação gráfica dos valores de LQI obtidos a diferentes alturas da videira, dependendo da distância entre o nó e a estação base (medições realizadas no sentido da linha das videiras).

Analisando as Figuras 46 e 47, observa-se uma correspondência entre os valores de RSSI e LQI; tanto no cacho como no dossel das videiras, até 5 m de distância entre a estação base e o nó, o valor de RSSI é maior que -87 dBm (com nível de LQI alto). Após esta distância, na altura do cacho ainda foi conseguido enlace entre o nó e a estação base até os 15 m, porém o nível de LQI registrado foi médio (resultando em uma recepção de pacotes menor que 85%).

No tronco das videiras, observou-se um valor de RSSI maior que -87 dBm até 30 m (com nível de LQI alto), entre 30 e 40 m ainda existiu comunicação entre o nó e a estação base, porém com um RSSI menor que -87 dBm (com nível de LQI médio).

5.3.3 Avaliação da qualidade do enlace entre o nó e a estação base posicionados no sentido perpendicular à linha das videiras

Para realizar os experimentos, tanto a estação base como o nó foram localizados em alturas iguais em relação à videira; no início, o nó foi posicionado a uma distância de uma fileira com relação à estação base (3 m de separação entre as fileiras), sendo afastado, perpendicularmente, até perder a comunicação com a estação base. Observou-se para as diferentes alturas avaliadas que, a partir da fileira cinco não foi conseguida comunicação entre o nó e a estação base. As medições realizaram-se em três diferentes alturas:

- no tronco, a 1,30 m do solo;
- no cacho, a 1,85 m do solo;
- no dossel, a 2,10 m do solo.

Os valores de RSSI, obtidos nos experimentos, são apresentados na Tabela 14 e, de modo gráfico, na Figura 48. Foi desenhada uma linha pontilhada na altura do valor de RSSI = -87 dBm.

Tabela 14 - Valores de RSSI obtidos nas diferentes alturas da videira, dependendo da distância entre o nó e a estação base (medições realizadas no sentido perpendicular à linha das videiras).

Nro. de fileiras	RSSI (dBm)		
	Tronco	Cacho	Dossel
1	-65	-71	-75
2	-73	-89	-83
3	-85	-92	----
4	-86	----	----

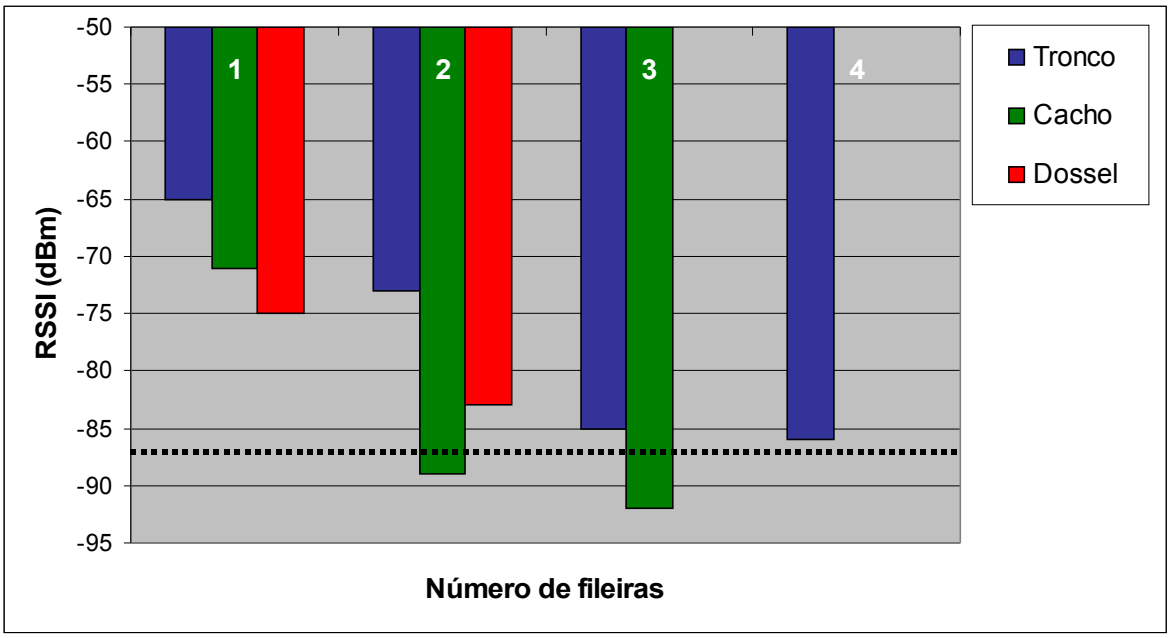


Figura 48 - Representação gráfica dos valores de RSSI obtidos a diferentes alturas da videira, dependendo da distância entre o nó e a estação base (medições realizadas no sentido perpendicular à linha das videiras). Valores de RSSI superiores a -87 dBm (linha tracejada) apresentam uma taxa de recepção de pacotes de 85%.

Os valores experimentais de LQI, coletados no sentido perpendicular à linha das videiras, são apresentados na Tabela 15 e, de forma gráfica, na Figura 49. Foi desenhada uma linha pontilhada para o valor de LQI = 104.

Tabela 15 - Valores de LQI obtidos nas diferentes alturas da videira, dependendo da distância entre o nó e a estação base (medições realizadas no sentido perpendicular à linha das videiras).

Nro. de fileiras	LQI		
	Tronco	Cacho	Dossel
1	108	108	108
2	108	105	107
3	106	94	----
4	107	----	----

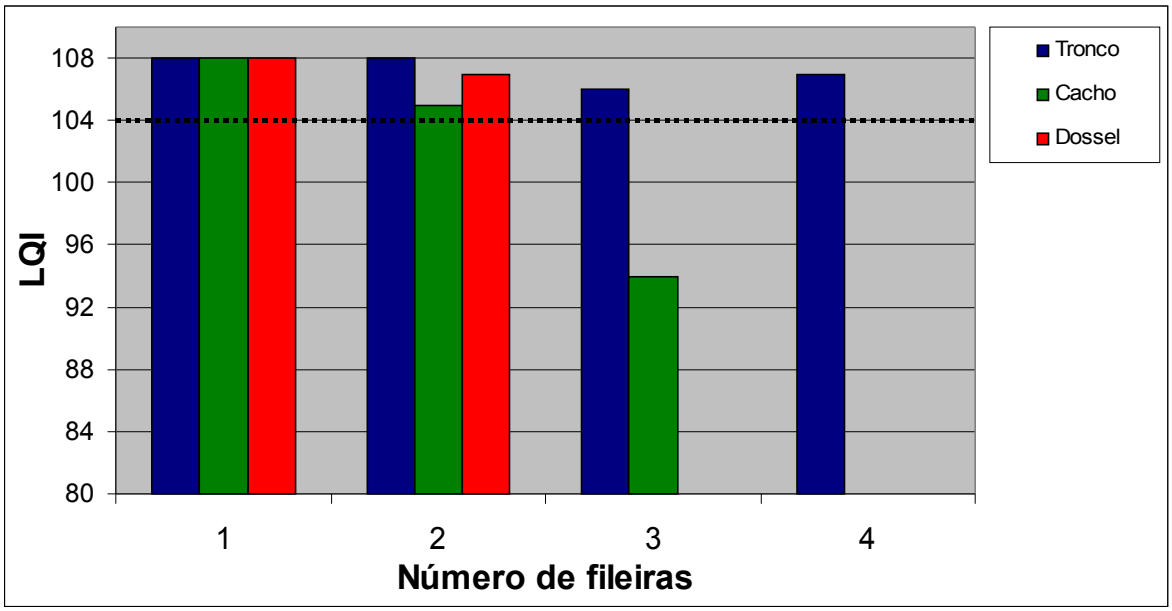


Figura 49 - Representação gráfica dos valores de LQI obtidos a diferentes alturas da videira, dependendo da distância entre o nó e a estação base (medições realizadas no sentido perpendicular à linha das videiras).

Da análise das Figuras 48 e 49, observa-se que na altura do dossel é conseguida comunicação entre o nó e a estação base até a segunda fileira, com valores de RSSI maiores que -87 dBm e nível de LQI alto. Na terceira fileira, para esta altura, não foi conseguida comunicação. Na altura do cacho, registrou-se uma qualidade de enlace boa na primeira fileira; para a segunda fileira, o nível do LQI foi ainda alto, porém o valor médio de RSSI foi menor que -87 dBm (sendo -89 dBm); comparando os valores entre o cacho e o dossel das videiras, na terceira fileira ainda foi registrada comunicação na altura do cacho (com nível de LQI médio e RSSI = -92 dBm).

No tronco das videiras foi observado um valor de RSSI maior que -87 dBm até a quarta fileira (com nível de LQI alto), porém a partir da quinta fileira não conseguiu-se comunicação entre o nó e a estação base. Percebeu-se a influência do relevo do terreno (15º de inclinação, aproximadamente) no alcance do sinal, principalmente, na altura do tronco das videiras, com uma variação de altura entre linhas de 0,80 m.

5.3.4 Avaliação do experimento realizado

As variáveis métricas consideradas para avaliar a qualidade do enlace (RSSI

e LQI) foram adotadas por sua disponibilidade como parte do transceptor de rádio CC2420 (utilizado pela plataforma MICAz). Avaliações destas duas variáveis métricas para o modelo de transceptor de rádio CC2420, baseado no padrão IEEE 802.15.4, demonstram seu bom desempenho para estimar a qualidade do enlace em uma RSSF, principalmente, para o RSSI ao concluir que: o RSSI para um enlace dado experimenta uma variação pequena ao longo do tempo e que quando o RSSI é maior que -87 dBm, a taxa de recepção de pacotes é, aproximadamente, de 85%. Em relação ao LQI, este parâmetro apresenta uma maior variabilidade ao longo do tempo, se comparado com o RSSI (SRINIVASAN; LEVIS, 2006).

Na literatura percebeu-se uma carência de trabalhos para avaliar a qualidade de enlace em um ambiente agrícola, principalmente em vinhedos, baseados no RSSI e LQI. Giacomin e Vasconcelos (2006) apresentam uma avaliação dos módulos CC1000 e CC2420 utilizando o RSSI como indicador, sendo conduzidos os experimentos em uma área livre e em uma cultura agrícola (milharal). Na cultura agrícola, para o módulo CC2420, observou-se que, para uma distância de 10 m, o valor de RSSI é de -92 dBm, sendo aproximado ao conseguido na altura do cacho das videiras durante o experimento realizado.

Em concordância com os resultados do primeiro experimento, no qual foi avaliado o alcance de conectividade entre o nó sensor e a estação base, observou-se uma grande perda do sinal na área próxima ao dossel e ao cacho das videiras. O motivo é porque a frequência na qual opera a plataforma MICAZ (2,4 GHz) é a frequência de absorção das moléculas de água (ZHANG, 2004). Isto é refletido nos valores de RSSI e LQI apresentados como parte dos resultados, os quais são menores na altura do dossel das videiras em relação às outras alturas avaliadas.

Das medições realizadas no sentido da linha das videiras, na altura do cacho e do dossel, observou-se um nível de LQI alto até os cinco primeiros metros, após esta distância é percebida uma queda considerável do sinal, principalmente, na altura do dossel. No sentido perpendicular à linha das videiras, foi observado um comportamento parecido, com boa conectividade até a segunda fileira de distância entre o nó e a estação base (6 m). Observou-se também, a influência do relevo do terreno, resultando em um menor alcance na altura do tronco e cacho das videiras.

Salienta-se que na linha do dossel está a a estrutura de suporte e a cobertura plástica, produzindo interferência na comunicação. Outro aspecto a ser considerado em próximas avaliações da qualidade do sinal é que na face interna do

plástico, ao amanhecer, ocorre a condensação do orvalho e isto afeta a comunicação entre os nós e a estação base, produzindo atenuação do sinal. Contudo, na altura do tronco conseguiu-se um alcance razoável, como uma forma de posicionar os nós, poderia se considerar alguns deles posicionados no tronco e configurados para operar só como roteadores, ajudando a conseguir um maior alcance de conectividade da rede.

5.4 EXPERIMENTO 4: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA RSSF NO PARREIRAL

Apresentam-se os resultados em relação à avaliação do desempenho da RSSF posicionada no parreiral. Como descrito no item 4.5.4, foram realizados dois experimentos utilizando a mesma configuração da rede (constituída por dez nós), sendo que eles foram posicionados em duas diferentes alturas da videira (no dossel e no cacho).

5.4.1 Resultados do experimento realizado na altura do dossel das videiras

A coleta de dados na altura do dossel foi realizada durante um período de 135 h ininterruptas, com os nós configurados para enviar seus dados a cada 5 min, perfazendo um total de 1.620 pacotes de dados enviados por cada nó. Na Tabela 16 é mostrada a quantidade de pacotes enviados, recebidos e perdidos, assim como os respectivos valores percentuais.

Na Tabela 17 são mostrados indicadores em relação ao desempenho da rede, extraídos a partir dos *health packets*[25]; sendo que, no modo de operação LP, o protocolo XMesh permite a coleta de *health packets* cada 20 min. Os indicadores apresentados na Tabela 17 utilizados para avaliar o desempenho da RSSF são descritos a seguir:

---

25 O protocolo XMesh inclui a coleta de dados relacionados ao estado da rede cada certo intervalo de tempo, denominados *health packets*, os quais são armazenados no banco de dados PostgreSQL e podem ser visualizados por meio do software MoteView 2.0 F (MOTEVIEW, 2010).

- ***node packets*:** compreende o conjunto de pacotes encaminhados por cada nó (pacotes de dados, *health packets* e pacotes de atualização de rota);
- ***health packets:*** compreende o número de pacotes de estado da rede coletados pelo nó;
- **pacotes retransmitidos:** compreende o número de *node packets* encaminhados a partir de outros nós;
- **qualidade de transmissão de enlace:** compreende a qualidade de enlace entre o nó e o seu nó pai;
- **qualidade de recepção de enlace:** compreende a qualidade de enlace entre o nó e o seu nó filho.

Tabela 16 - Pacotes de dados enviados, recebidos e perdidos para os dez nós posicionados na altura do dossel das videiras.

	Nó 1	**Nó 2**	**Nó 3**	**Nó 4**	**Nó 5**	**Nó 6**	**Nó 7**	**Nó 8**	**Nó 9**	**Nó 10**
Nro de pacotes enviados	1.620	1.620	1.620	1.620	1.620	1.620	1.620	1.620	1.620	1.620
Nro de pacotes recebidos	1.297	1.532	1.436	1.530	1.530	1.537	1.230	1.449	1.386	1.533
Nro de pacotes perdidos	323	88	184	90	90	83	390	171	234	87
% de pacotes recebidos	80,06	94,57	88,64	94,44	94,44	94,88	75,93	89,44	85,56	94,63
% de pacotes perdidos	19,94	5,43	11,36	5,56	5,56	5,12	24,07	10,56	14,44	5,37

Tabela 17 - Indicadores de desempenho da rede para os dez nós posicionados na altura do dossel das videiras.

	Nó 1	**Nó 2**	**Nó 3**	**Nó 4**	**Nó 5**	**Nó 6**	**Nó 7**	**Nó 8**	**Nó 9**	**Nó 10**
Node packets	2.250	2.429	2.043	2.427	2.427	2.426	2.126	2.348	2.252	2.424
Health packets	338	388	365	383	376	389	335	389	394	390
Pacotes retransmitidos	133	54	13	2.276	668	3.525	2.129	245	3.455	76
Qualidade de transmissão	93,89	97,14	76,55	95,23	96,69	96,75	85,41	96,74	94,48	97,22
Qualidade de recepção	95,11	96,04	82,56	95,11	97,24	95,66	89,37	96,45	95,27	96,35

5.4.2 Resultados do experimento realizado na altura do cacho das videiras

Na altura do cacho das videiras, a coleta de dados foi realizada durante um período de 164 h ininterruptas. A configuração da rede foi igual que no experimento anterior (coleta de dados a cada 5 min), sendo 1.968 pacotes de dados enviados por cada nó. Na Tabela 18 são apresentados os valores experimentais obtidos em relação aos pacotes de dados (quantidade de pacotes enviados, recebidos, perdidos, e os respectivos valores percentuais).

Tabela 18 - Pacotes de dados enviados, recebidos e perdidos para os dez nós posicionados na altura do cacho das videiras.

	Nó 1	**Nó 2**	**Nó 3**	**Nó 4**	**Nó 5**	**Nó 6**	**Nó 7**	**Nó 8**	**Nó 9**	**Nó 10**
Nro de pacotes enviados	1.968	1.968	1.968	1.968	1.968	1.968	1.968	1.968	1.968	1.968
Nro de pacotes recebidos	1.765	1.714	1.687	1.688	1.693	1.912	1.821	1.827	1.871	1.881
Nro de pacotes perdidos	203	254	281	280	275	56	147	141	97	87
% de pacotes recebidos	89,68	87,09	85,72	85,77	86,03	97,15	92,53	92,84	95,07	95,58
% de pacotes perdidos	10,32	12,91	14,28	14,23	13,97	2,85	7,47	7,16	4,93	4,42

Apresentam-se, na Tabela 19, os dados em relação ao desempenho da rede no parreiral. Como no experimento anterior, os *health packets* foram coletados a cada 20 min e foram considerados os seguintes dados: *node packets*, *health packets*, pacotes retransmitidos e qualidade de enlace (transmissão e recepção).

Tabela 19 - Indicadores de desempenho da rede para os dez nós posicionados na altura do cacho das videiras.

	Nó 1	**Nó 2**	**Nó 3**	**Nó 4**	**Nó 5**	**Nó 6**	**Nó 7**	**Nó 8**	**Nó 9**	**Nó 10**
Node packets	2.999	3.000	2.999	2.999	2.999	2.987	2.951	2.808	2.535	2.981
Health packets	469	452	453	429	428	465	454	466	446	455
Pacotes retransmitidos	1.120	706	599	21	319	765	120	418	1.080	240
Qualidade de transmissão	95,81	94,10	94,85	93,43	93,40	96,07	95,12	94,64	94,57	96,26
Qualidade de recepção	94,84	94,93	95,13	94,28	95,00	94,74	95,36	95,09	95,38	94,02

5.4.3 Avaliação do experimento realizado

Comparando o valor médio para os dez nós utilizados, para ambos os experimentos realizados (no cacho e no dossel das videiras), pode-se dizer que: enquanto à porcentagem de pacotes perdidos, foi menor na altura do cacho (9,25% para os nós posicionados na altura do cacho e 10,74% na altura do dossel). Os valores percentuais para a qualidade de transmissão e recepção de enlace foram menores na altura do dossel, sendo: a qualidade de transmissão (93,01% na altura do dossel e 94,82%, no cacho) e a qualidade de recepção (93,92% na altura do dossel e 94,88%, no cacho). Esses indicadores são apresentados na Figura 50, demonstrando um melhor desempenho da rede quando os nós foram posicionados na altura do cacho das videiras. Este é um critério que pode ser considerado para posicionar a rede no parreiral, conseguindo-se assim, uma melhor conectividade entre os nós e uma menor perda de pacotes de dados[26].

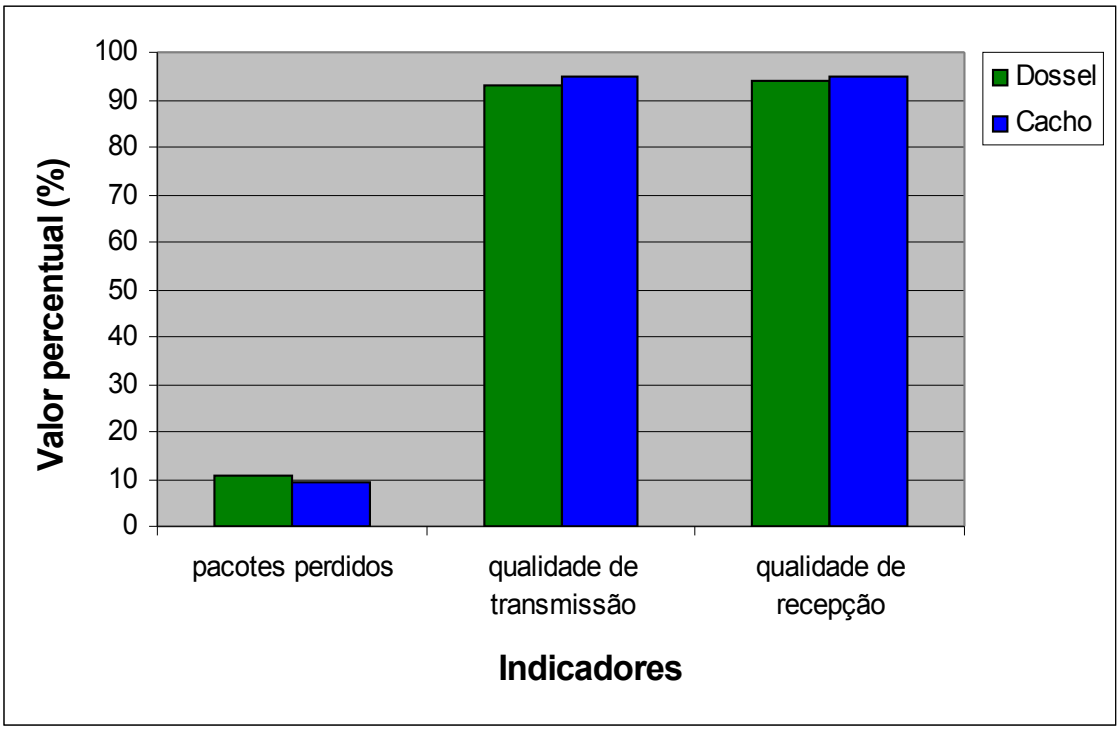


Figura 50 - Valores percentuais dos indicadores utilizados para avaliar o desempenho da rede, com os nós posicionados em duas diferentes alturas (no dossel e no cacho das videiras).

26 Como visto nos resultados do experimento 3, a perda de pacotes é devido à maior interferência produzida quando o nó estiver próximo à parte vegetativa das videiras (alguns desses motivos, a maior presença de objetos no caminho do sinal e a água contida nos vegetais).

5.5 EXPERIMENTO 5: AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE MICROCLIMÁTICA NO PARREIRAL

A seguir são apresentados os resultados para a avaliação microclimática realizada no parreiral. Foram realizados dois experimentos, sendo um deles para monitorar as condições ambientais em diferentes alturas da videira, e o segundo para monitorar as condições ambientais em diferentes posições no parreiral. Portanto, ambos experimentos servem para caracterizar a variabilidade espacial no parreiral.

5.5.1 Variabilidade microclimática em diferentes alturas da videira

Foi realizada a coleta de três variáveis ambientais (umidade relativa do ar, temperatura e luminosidade), durante um período de 40 h (entre os dias 3, 4 e 5 de fevereiro de 2010). Para os dados de temperatura ambiental e umidade relativa do ar coletados considerou-se o fator de ajuste mostrado na Tabela 6, procurando diminuir a variabilidade existente entre as placas sensoras dos nós. Na Figura 51 são mostrados os dados de umidade relativa, coletados nas três alturas avaliadas (cacho, dossel e acima do dossel das videiras).

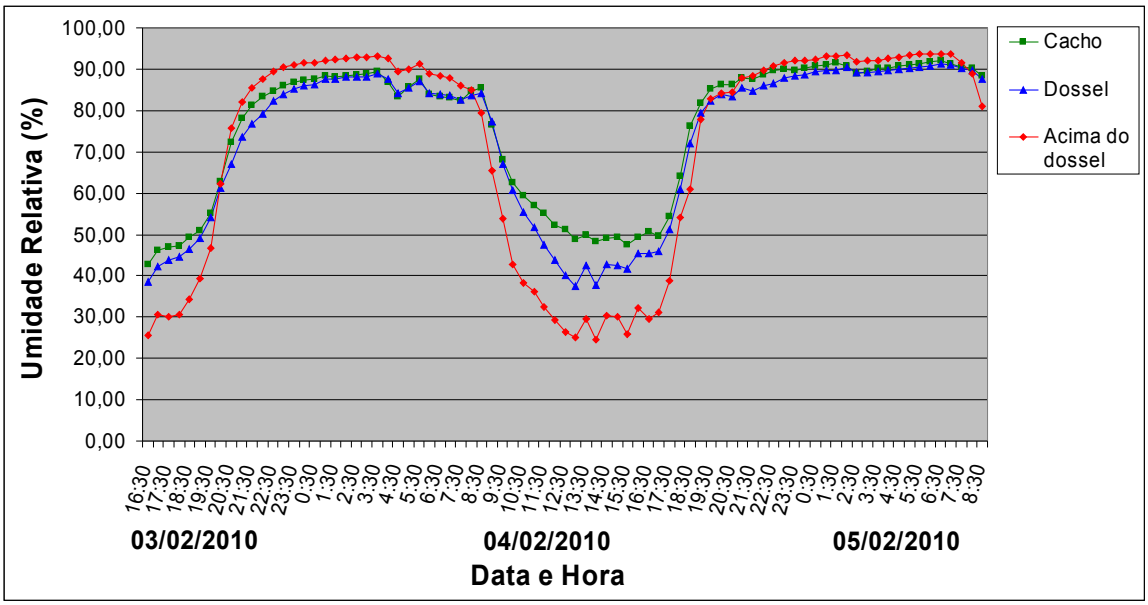


Figura 51 - Dados de umidade relativa coletados em três alturas da videira (cacho, dossel e acima do dossel).

A partir da Figura 51, para as três alturas avaliadas, observa-se uma maior variabilidade entre as posições dos sensores durante o dia do que durante a noite. As diferenças ficam mais evidentes comparando os dados coletados acima do dossel em relação aos coletados na altura do dossel das videiras, onde a umidade relativa resultou ser ligeiramente maior durante a noite (em média 5%). Em contrapartida, durante o dia foi observado que os dados de umidade relativa acima do dossel foram menores que os coletados no dossel da videira (em média 24%).

Para os dados coletados na altura do cacho das videiras em relação aos coletados na altura do dossel, observou-se uma menor variabilidade, com maior proximidade dos dados durante a noite do que durante o dia. Durante o período noturno, em média, resultaram ser 2% maiores e durante o dia, 10% maiores os dados coletados no cacho em relação aos dados coletados no dossel das videiras.

Na Figura 52 são mostrados os dados de temperatura ambiental para as três alturas avaliadas (cacho, dossel e acima do dossel da videira).

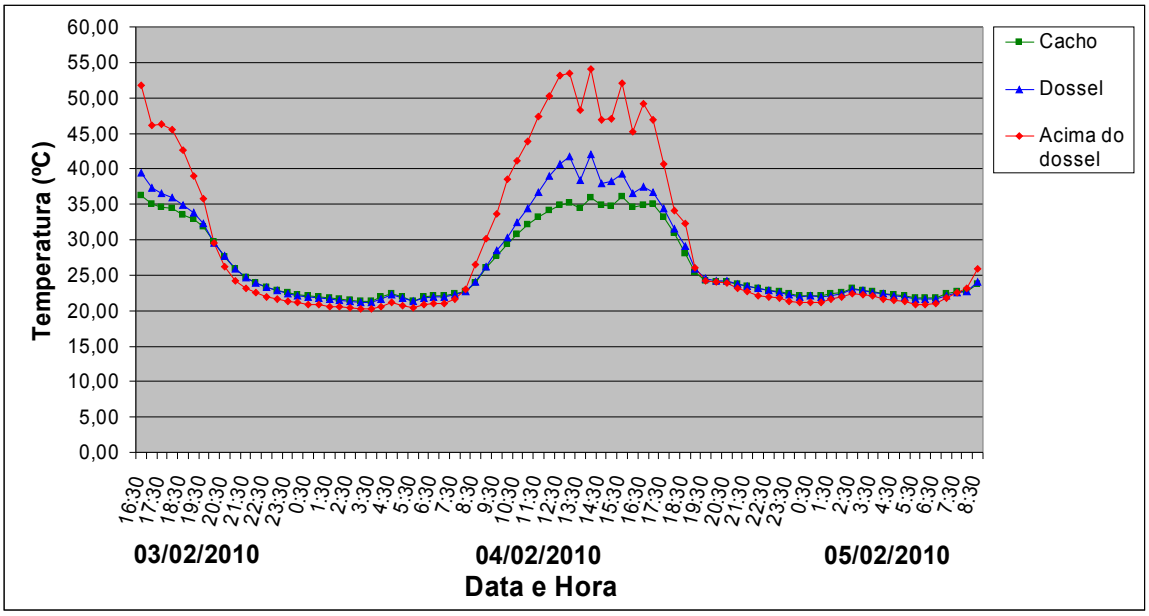


Figura 52 - Dados de temperatura ambiental coletados em três alturas da videira (cacho, dossel e acima do dossel).

Do gráfico apresentado na Figura 52 observa-se uma maior variabilidade durante o dia do que durante a noite. Comparando os dados coletados acima do dossel das videiras em relação aos coletados na altura do dossel foi percebido que, durante a noite, a temperatura ambiental seguiu a mesma tendência (em média

3,6% menor para os dados coletados acima do dossel). Pelo contrário, a partir dos dados coletados durante o dia observou-se que, a temperatura ambiental coletada acima do dossel das videiras em média resultou ser 21% maior que na altura do dossel.

Para os dados de temperatura ambiental coletados na altura do cacho das videiras em relação aos coletados na altura do dossel, observou-se uma maior proximidade entre eles. Durante a noite, a diferença entre ambos os dados (temperatura ambiental no cacho e no dossel) é mínima, resultando ser menor na altura do dossel (em média 0,45%); durante o dia, a diferença para os dados coletados nas duas alturas avaliadas foi maior na altura do dossel (em média 6%).

Como observado em Cardoso et al. (2008), existe um acréscimo da temperatura embaixo do plástico (3,4 ºC, considerando a temperatura máxima), existindo maiores diferenças em períodos diurnos, sendo que a temperatura é maior entre a cobertura plástica e o dossel das videiras do que na altura do cacho. De acordo ao trabalho de Cardoso também foi observado que, para os dados de umidade relativa, esta resultou ser maior na altura do cacho das videiras do que entre o dossel e a cobertura plástica, resultados que guardam correlação com os obtidos no presente trabalho.

Na Figura 53 são mostrados os dados de luminosidade coletados nas três diferentes alturas avaliadas (cacho, dossel e acima do dossel da videira).

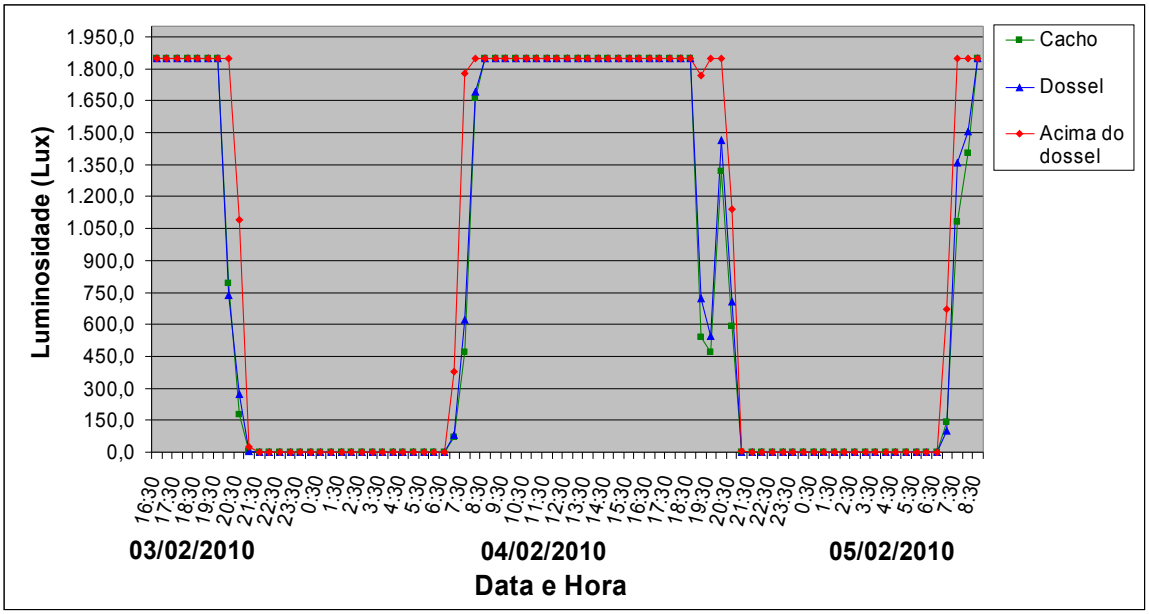


Figura 53 - Dados de luminosidade coletados em três diferentes alturas da videira (cacho, dossel e acima do dossel).

Na Figura 47 pode-se ver que os dados de luminosidade coletados nas três alturas avaliadas (cacho, dossel e acima do dossel das videiras) são iguais durante o dia, pois as condições ambientais atingiram o limite máximo de detecção de luminosidade desse sensor (1.847 Lux). Um dia de sol claro apresenta em média 100.000 Lux, um dia de sol com nuvens apresenta 10.000-100.000 Lux e um dia nublado/chuva apresenta 100-10.000 Lux (FOOTPRINT, 2010). Com base nos resultados obtidos em diferentes trabalhos da Embrapa Uva e Vinho (CARDOSO et al., 2008; CHAVARRIA et al., 2009; COMIRAN, 2009), a cobertura plástica restringe aproximadamente 30% da radiação incidente no dossel, ou seja, sob a cobertura pode estar incidindo 70.000 Lux, sendo muito superior aos 1.847 Lux que representa o limite máximo superior do sensor Taos TSL2550 (TAOS, 2010), utilizado pela placa MTS400/MTS420 para a coleta de dados de luminosidade.

Pelos resultados conseguidos, considera-se que este sensor não possui a capacidade de detecção de luminosidade necessária para ser utilizado em aplicações agrícolas. Nos trabalhos de pesquisa da Embrapa Uva e Vinho vêm sendo utilizadas células fotovoltaicas para monitorar a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), as quais operam na faixa espectral de 400 a 700 nm. Uma opção para aumentar as capacidades de sensoriamento dos nós da RSSF é integrar as células fotovoltaicas às placas MDA300 ou outro tipo de sensores que permitam o monitoramento adequado das condições de luminosidade ou radiação solar.

5.5.2 Variabilidade espacial no parreiral

Espacialmente, no do parreiral, foi realizada a coleta de dados de temperatura ambiental e umidade relativa do ar; a distribuição dos dez nós utilizados na coleta de dados é mostrada na Figura 54. Para diminuir a variabilidade existente entre as placas sensoras dos nós, utilizou-se o fator de ajuste apresentado na Tabela 6.

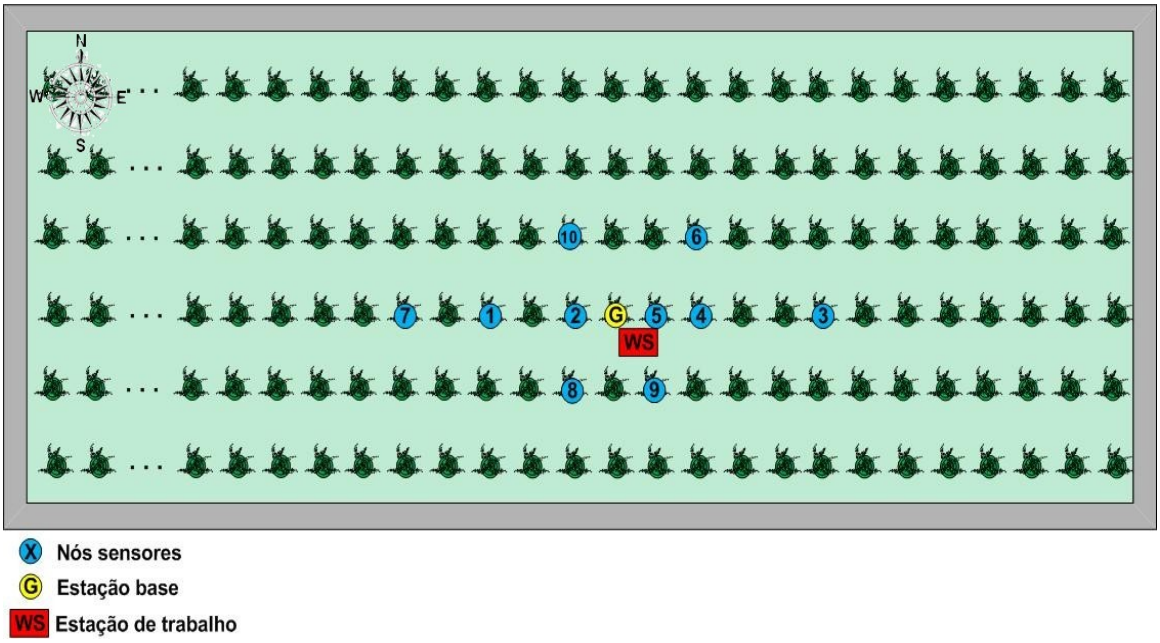


Figura 54 - Distribuição dos nós no parreiral.

A coleta de dados foi realizada entre os dias do 28 de janeiro e 1 de fevereiro de 2010. Para sua visualização gráfica, os dados foram agrupados em intervalos de 30 em 30 min, considerando a média aritmética como o valor representativo desse conjunto de dados.

Na Figura 55 são mostrados os dados de temperatura ambiental e, na Figura 56, os dados de umidade relativa do ar, pode-se observar certa variabilidade entre os dados de ambas as variáveis, principalmente, durante o dia.

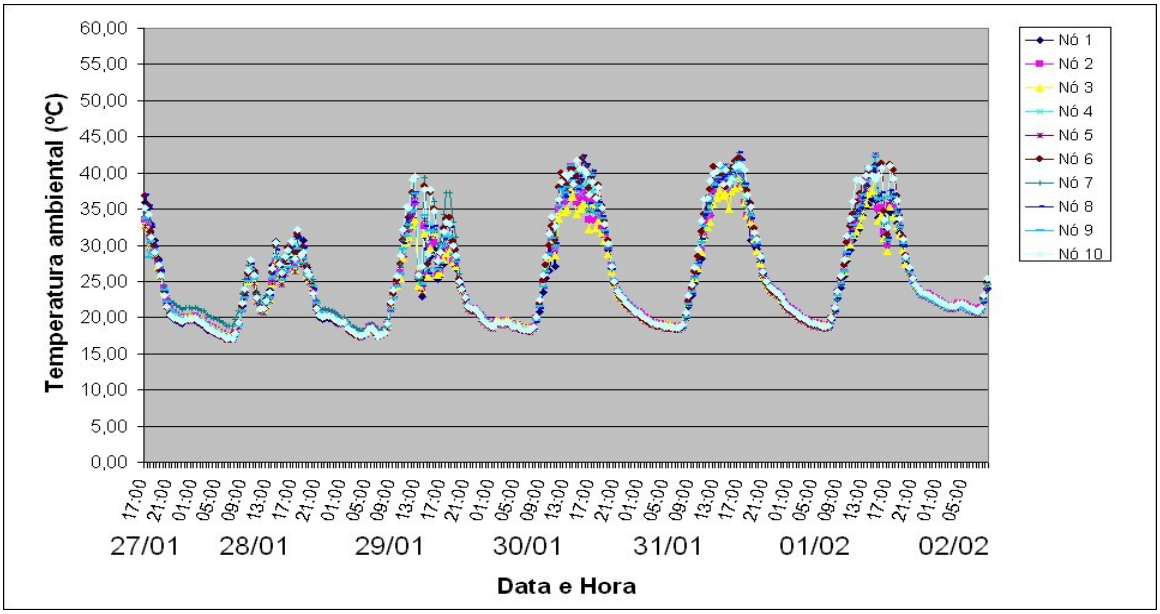


Figura 55 - Dados de temperatura no parreiral.

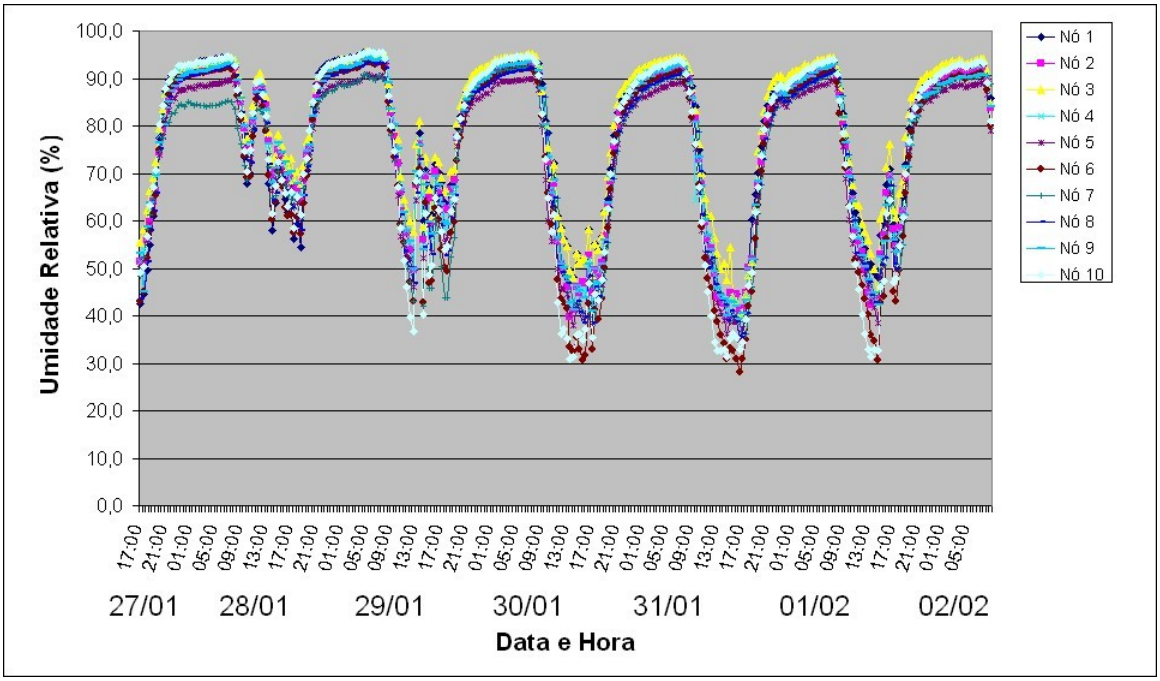


Figura 56 - Dados de umidade relativa no parreiral.

Os nós 6 e 10 apresentaram valores de temperatura maiores e de umidade relativa menores em relação os outros oito nós. Esses nós foram posicionados na fileira que está mais interna à borda da videira, a restrição de deslocamento do ar, ocasionado pela cobertura plástica, tende a elevar as temperaturas do ar (CARDOSO et al., 2008).

5.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO PRESENTE CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os resultados da avaliação realizada à RSSF experimental no parreiral. Para tal finalidade, foram considerados os seguintes aspectos: alcance de conectividade, qualidade do enlace entre o nó e a estação base, desempenho da RSSF no parreiral e exatidão dos dados; também foi realizada uma avaliação da variabilidade microclimática no parreiral, tendo em consideração dois critérios: as diferentes alturas nas plantas de videira e os contrastes de localização espacial dos nós na área do parreiral. Os resultados apresentados neste capítulo correspondem aos experimentos descritos no Capítulo 4.

Por ser uma RSSF experimental, ela tem algumas limitações; por esse

motivo, foram adotados alguns cuidados para não danificá-la, como por exemplo, a proteção realizada nos nós quando eles deveriam ficar instalados no campo para coletar dados. No entanto, percebeu-se a facilidade deste tipo de rede para realizar um mapeamento da variabilidade no parreiral por sua facilidade de implantação e mobilidade.

Enquanto à comunicação, como avaliado nos experimentos 2 e 3, o sinal é atenuado devido à presença de água contida nos vegetais, percebendo-se menor alcance na altura do dossel e do cacho das videiras se comparado com o alcance conseguido no tronco.

Da avaliação da exatidão dos dados coletados pela placa MTS400, sensor Sensirion SHT11, e a capacidade de detecção de luminosidade necessária do sensor Taos TSL2550 (luminosidade) levaram a optar por considerar algumas modificações no aplicativo XMTS400 para coletar somente dados de temperatura e umidade relativa, permitindo um menor consumo de energia, o uso de um pacote de dados menor e um menor espaço de armazenamento, sendo evitada uma coleta desnecessária de dados.

A partir dos resultados conseguidos na avaliação da RSSF no campo experimental conseguiram-se publicar dois artigos: (BENAVENTE; CUGNASCA; SANTOS, 2010a), no CLIA/CONBEA 2010[27], e (BENAVENTE; CUGNASCA; SANTOS, 2010b), no CONBAP 2010[28].

---

27 XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. IX Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola – CLIA/CONBEA 2010.
Site: http://www.sbea.org.br/clia2010/clia1/principal.html

28 Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – CONBAP 2010.
Site: http://www.sbea.org.br/conbap2010/

6 MONITORAMENTO AMBIENTAL POR MEIO DE UM INTERVALO DE AMOSTRAGEM VARIÁVEL

Apresenta-se neste capítulo uma descrição da proposta do trabalho, que é realizar o monitoramento ambiental de um vinhedo utilizando um intervalo de amostragem variável. Além da descrição do sistema de monitoramento, salienta-se que neste capítulo serão apresentadas as modificações realizadas no aplicativo, utilizado pelos nós para tal fim, o protótipo de teste desenvolvido, os experimentos concebidos, os resultados alcançados que permitiram validar a proposta e os benefícios da utilização desta abordagem.

6.1 DESCRIÇÃO DA PROPOSTA

A proposta deste trabalho, conforme já apresentada no Capítulo 1, considera realizar o monitoramento ambiental de um vinhedo/parreiral (umidade relativa do ar e temperatura) utilizando um intervalo de amostragem variável, que pudesse ser reconfigurado automaticamente pelos nós a partir de condições predefinidas no seu aplicativo, possibilitando obter benefícios como:

- **economia no consumo de energia utilizada pelos nós:** como são definidos dois intervalos de amostragem, existem períodos chamados de condições normais, nos quais o nó pode realizar a coleta de dados com um intervalo de amostragem maior. Quando ultrapassar os limiares preestabelecidos, este intervalo pode ser reconfigurado passando a se coletar dados em intervalos de amostragem menores;
- **espaço para armazenamento de dados menor:** a opção de se realizar uma coleta de dados com dois intervalos de amostragem garante que a quantidade de dados a ser armazenada no computador central seja menor que em uma abordagem tradicional, com um intervalo de amostragem fixo;

- **monitoramento de um fenômeno com maior continuidade:** permitir aos especialistas a possibilidade de acompanhar, de uma forma mais contínua, o comportamento de um determinado fenômeno que está sendo monitorado, quando o valor de uma variável ultrapassar os limiares predefinidos (chamado também de condições anormais).

Para ilustrar o interesse em se alterar o intervalo de amostragem considerou-se, como exemplo, o monitoramento da temperatura ambiental em um vinhedo durante o seu período vegetativo, no qual define-se como condições normais que a temperatura permaneça entre 10 ºC e 30 ºC (valores adotados para exemplificar a idéia e que podem ser redefinidos pelos especialistas com maior precisão). Quando a temperatura estiver nessa faixa, realiza-se uma coleta de dados com um intervalo de amostragem de 15 min, porém se a temperatura ultrapassar os limiares (< 10 ºC ou > 30 ºC), o intervalo de amostragem é reconfigurado, passando os nós a coletar dados em intervalos menores (a cada 5 min, por exemplo). Na Figura 57 apresenta-se, graficamente, esta proposta. Consideraram-se alternar entre os intervalos de amostragem de 5 min (menor) e de 15 min (maior) como uma forma de exemplificar a ideia de amostragem variável, sendo ambos os intervalos considerados como suficientes para monitoramento ambiental.

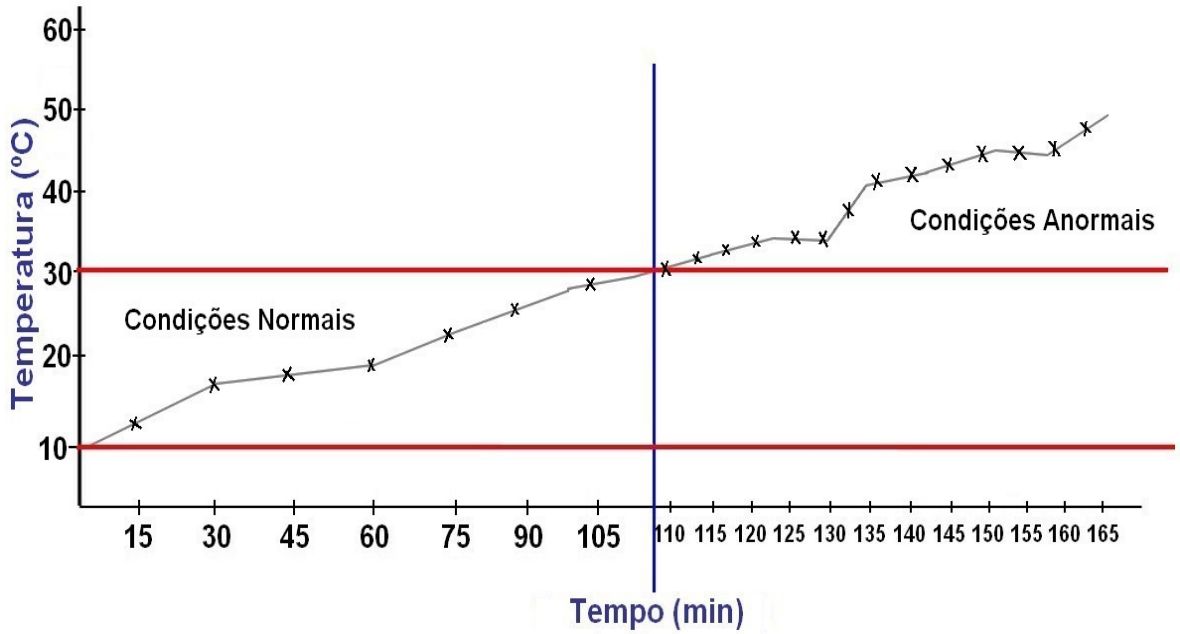


Figura 57 - Monitoramento ambiental utilizando um intervalo de amostragem variável.

6.2 SISTEMA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL

Na Figura 58 é mostrada uma representação do sistema de monitoramento ambiental. Os nós, implantados no vinhedo, têm um aplicativo instalado que lhes permite coletar dados de temperatura e umidade relativa do ar. Os valores dessas variáveis ambientais (temperatura, por exemplo), enquanto permanecerem entre os limiares predefinidos (superior e inferior), são coletados a um determinado intervalo de amostragem (intervalo_1). Porém, se o valor da variável ficar fora desses limiares, o intervalo de amostragem é reconfigurado automaticamente pelo nó (intervalo_2), regras que são implementadas no aplicativo instalado nos nós. Para possibilitar que os limiares (superior e inferior) e os intervalos de amostragem possam ser definidos com novos valores, adotou-se a programação remota (explicado, posteriormente, no item 6.5).

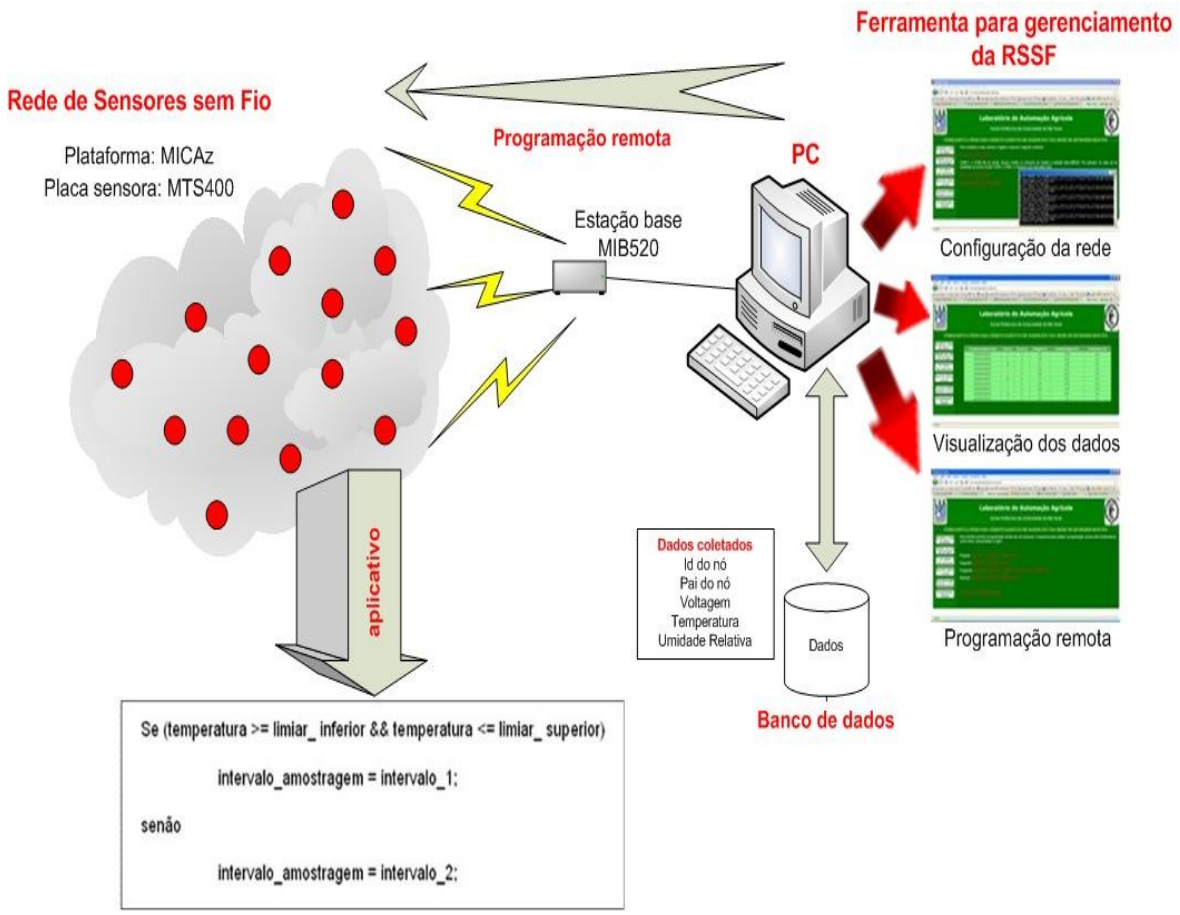


Figura 58 - Representação do sistema que permite o monitoramento ambiental de um vinhedo utilizando um intervalo de amostragem variável.

6.3 MODIFICAÇÕES REALIZADAS NO APLICATIVO DOS NÓS

6.3.1 Modificações realizadas no aplicativo XMTS400

Tomando como base o aplicativo XMTS400 original, disponibilizado pela MEMSIC (MOTEWORKS, 2010), realizaram-se nele algumas modificações. Como o objetivo foi coletar só os dados de temperatura e umidade relativa do ar (no capítulo anterior foi visto que, para fins agrícolas, o sensor de luminosidade não tem a capacidade necessária), o aplicativo XMTS400 foi adaptado para trabalhar com o sensor Sensirion SHT11 (temperatura e umidade relativa do ar), desabilitando os outros sensores da placa MTS400 (pressão atmosférica, luminosidade e aceleração). Na Figura 59 é mostrado o diagrama de componentes do aplicativo modificado, constituído pelo programa principal (módulo e configuração), o GenericCommPromiscuous (para envio e recepção de pacotes), o controlador para o sensor utilizado (Sensirion SHT11), o monitor de voltagem, o protocolo de roteamento XMesh, os recursos (*timer, leds* e *buffer*), o XCommand (para envio de comandos da estação base para os nós) e o conversor analógico digital.

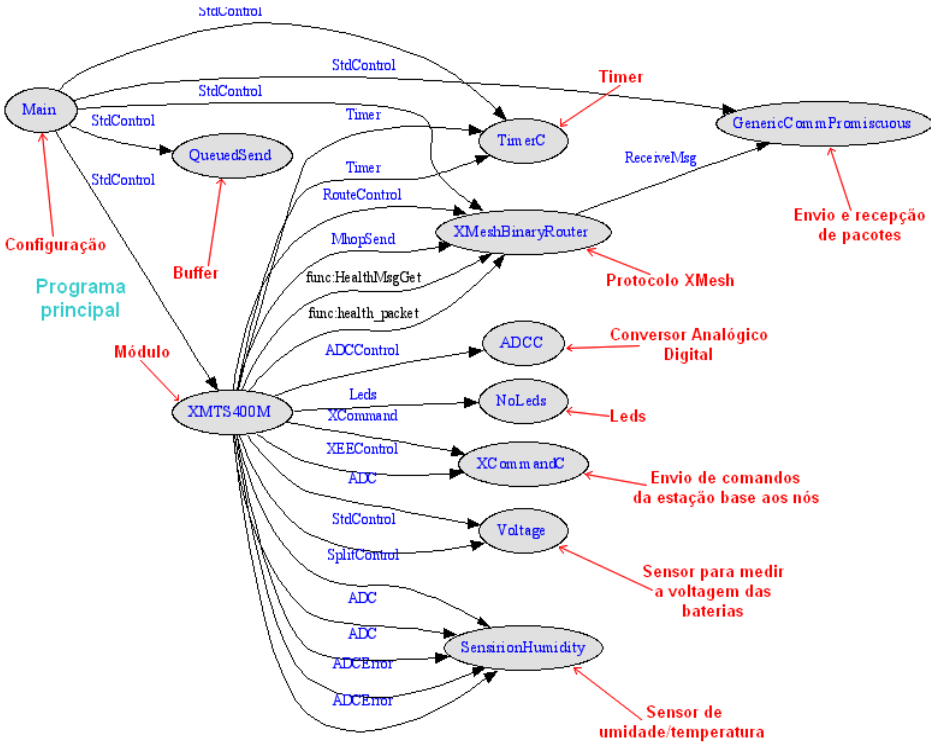


Figura 59 - Diagrama de componentes do aplicativo XMTS400 modificado, para coleta de temperatura ambiental e umidade relativa do ar.

6.3.2 Regras implementadas no código para realizar a amostragem diferenciada

Como mostrado na Figura 60, no código foram definidas quatro variáveis: os limiares superior e inferior (lsup_temp e linf_temp), e os dois intervalos de amostragem (intervalo_1 e intervalo_2), sendo o valor dos intervalos de amostragem definidos em ms. Os limiares de temperatura devem ser definidos em formato hexadecimal, o seu valor em formato decimal é obtido a partir da eq.(4) (XSERVE, 2010).

$$valor_temp = (temperatura + 38{,}4)/0{,}0098 \quad (4)$$

onde:

valor_temp = é o valor da temperatura em formato decimal, que deverá ser convertido a hexadecimal;

temperatura = é o valor da temperatura em ºC.

```
52  #include "appFeatures.h"
53  includes XCommand;
54
55  # define lsup_temp 0x1b43       //limiar superior 30ºC
56  # define linf_temp 0x134a       //limiar inferior 10ºC
57  # define intervalo_1    15000   //intervalo de tempo em ms
58  # define intervalo_2    5000    //intervalo de tempo em ms
59
60  module XMTS400M {
61    provides interface StdControl;
62
63    uses {
64
65
66  // RF Mesh Networking
67      interface MhopSend as Send;
68      interface RouteControl;
69
70  /*#ifdef XMESHSYNC
71
72      interface Receive as DownTree;
73  #endif      */
```

Figura 60 - Fragmento de código do aplicativo, implementado em NesC, no qual são definidas as variáveis utilizadas (limiares superior, inferior e intervalos de amostragem).

No aplicativo foram definidas regras como as mostradas na Figura 61, que permitem reconfigurar o intervalo de amostragem automaticamente, dependendo se o valor da variável temperatura ultrapassar os limiares definidos.

```
425 /*****************************************************************************
426  * Sensirion SHT11 humidity/temperature sensor
427  * - Humidity data is 12 bit:
428  *     Linear calc (no temp correction)
429  *        fRH = -4.0 + 0.0405 * data -0.0000028 * data^2     'RH linear
430  *     With temperature correction:
431  *        fRH = (fTemp - 25) * (0.01 + 0.00008 * data) + fRH        'RH true
432  * - Temperature data is 14 bit
433  *     Temp(degC) = -38.4 + 0.0098 * data
434  *****************************************************************************/
435 async event result_t Temperature.dataReady(uint16_t data) {
436    readings.xData.data6.temp = data;
437
438    datatemp = readings.xData.data6.temp;                          //variável que armazena o valor da temperatura
439
440 if (datatemp >= linf_temp && datatemp <= lsup_temp)               // se temperatura é maior que linf_temp (10°C) ou
441                                                                   // é menor que lsup_temp (30 °C)
442      {
443        call Timer.stop();
444        call Timer.start(TIMER_REPEAT,intervalo_1);               //intervalo de amostragem: intervalo_1
445      }
446    else {
447        call Timer.stop();
448        call Timer.start(TIMER_REPEAT,intervalo_2);               //intervalo de amostragem: intervalo_2
449      }
450
451    post stopTempHumControl();
452    return SUCCESS;
453  }
454
```

Figura 61 - Fragmento de código do aplicativo, no qual são implementadas as regras para realizar a reprogramação do intervalo de amostragem, dependendo dos limiares predefinidos.

6.4 DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA DESENVOLVIDA

O protótipo da ferramenta foi desenvolvido em PHP (PHP, 2010), utilizando-se um banco de dados em PostgreSQL (POSTGRESQL, 2010) para armazenamento dos dados. Dentre as funcionalidades implementadas, podem-se descrever:

- **inicializar coleta de dados:** permite inicializar o funcionamento da RSSF, sendo utilizada uma interface do Cygwin para executar os comandos necessários (Figura 62);
- **mudar intervalo de amostragem:** permite mudar o intervalo de amostragem de coleta de dados utilizado, se o monitoramento está sendo realizado com um único intervalo de amostragem e não com um intervalo de amostragem variável. O valor dele é definido em ms (Figura 63);
- **ver dados dos sensores:** tela na qual são visualizados os dados coletados pelos nós (voltagem, temperatura e umidade relativa) (Figura 64);
- **exportar dados e *health packets* para Excel:** permite exportar os dados armazenados no banco a planilhas compatíveis com o Excel (Figura 65);
- **programação remota:** permite instalar um novo aplicativo nos nós,

possibilitando mudar os valores das variáveis (limiares e intervalos de amostragem) (Figura 66). Esta funcionalidade será explicada com maior detalhe no item 6.5.

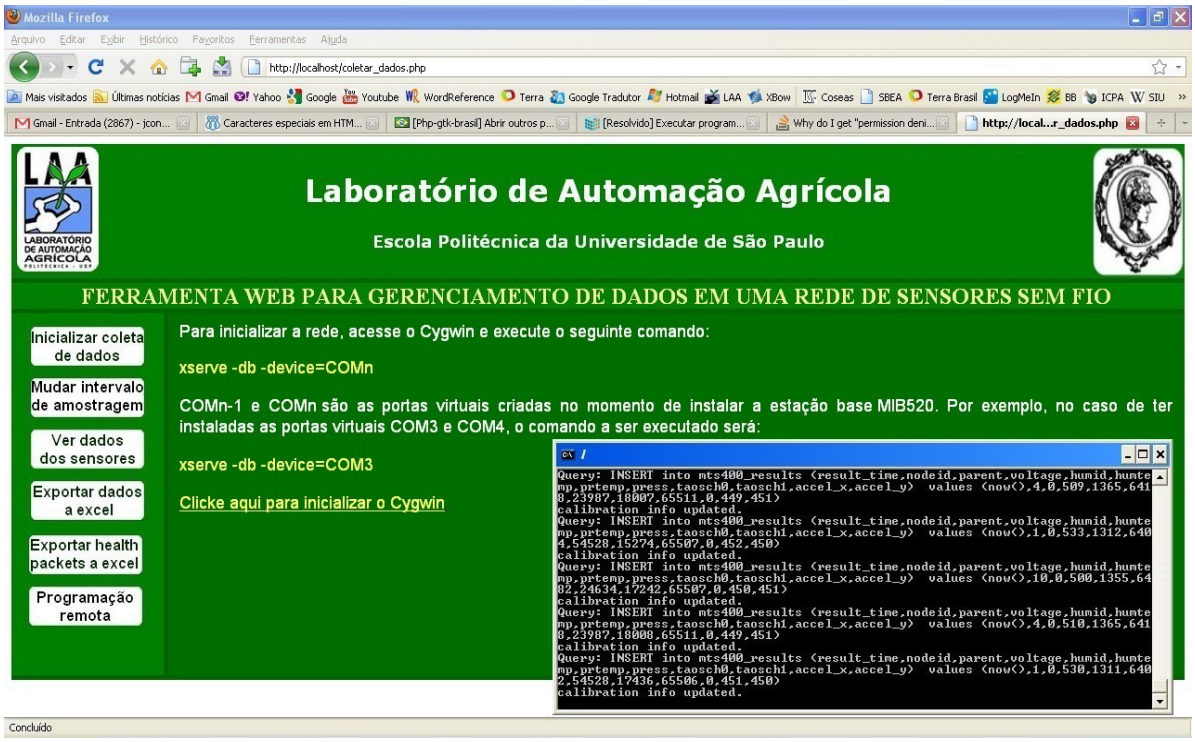


Figura 62 - Tela para inicializar a coleta dos dados.

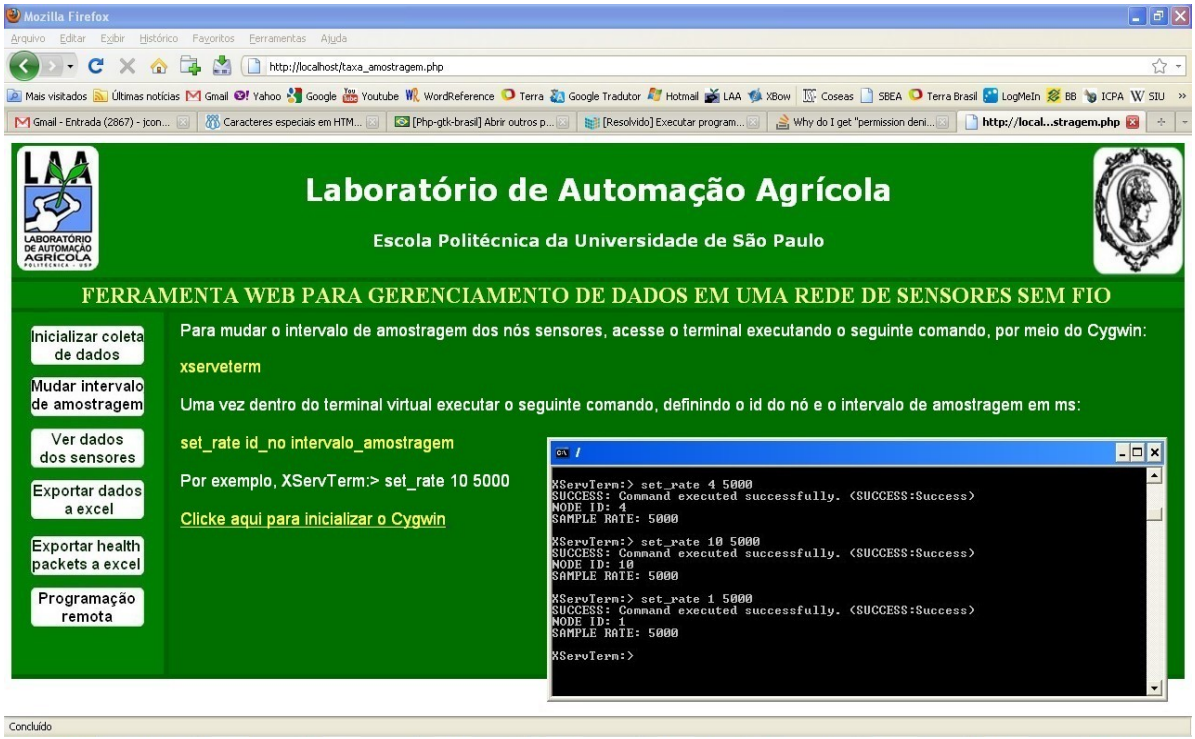
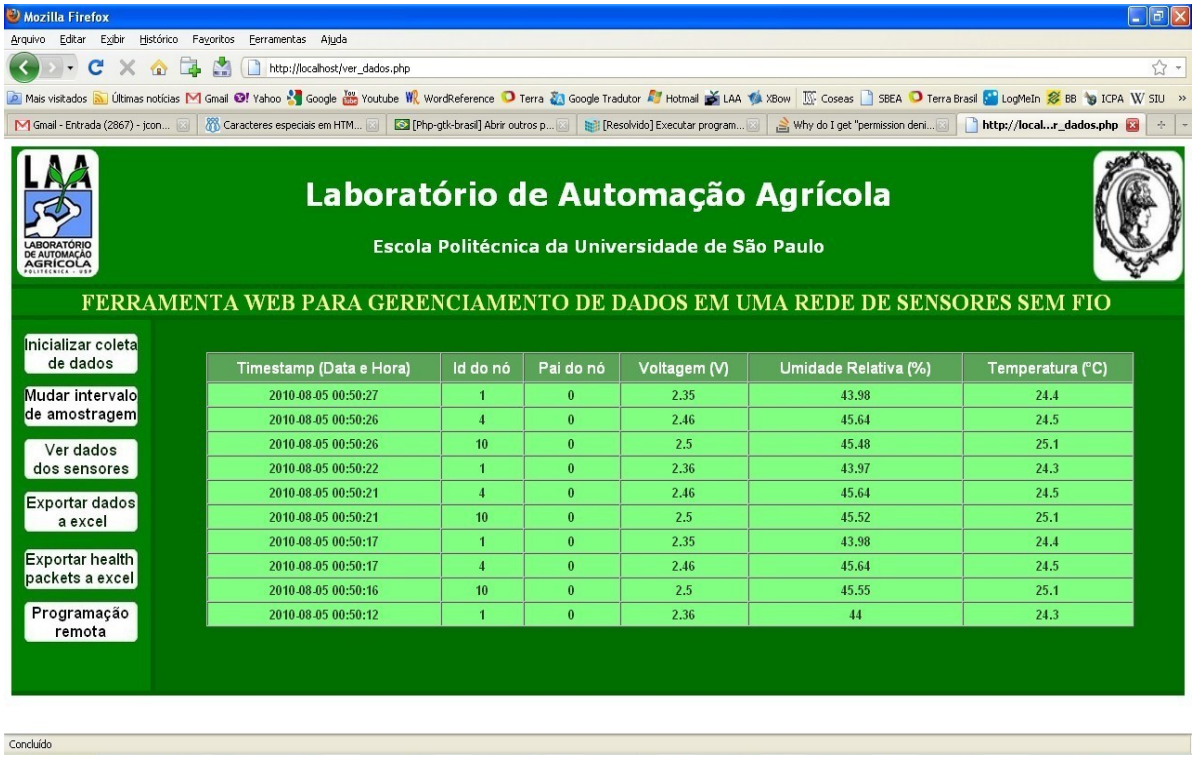
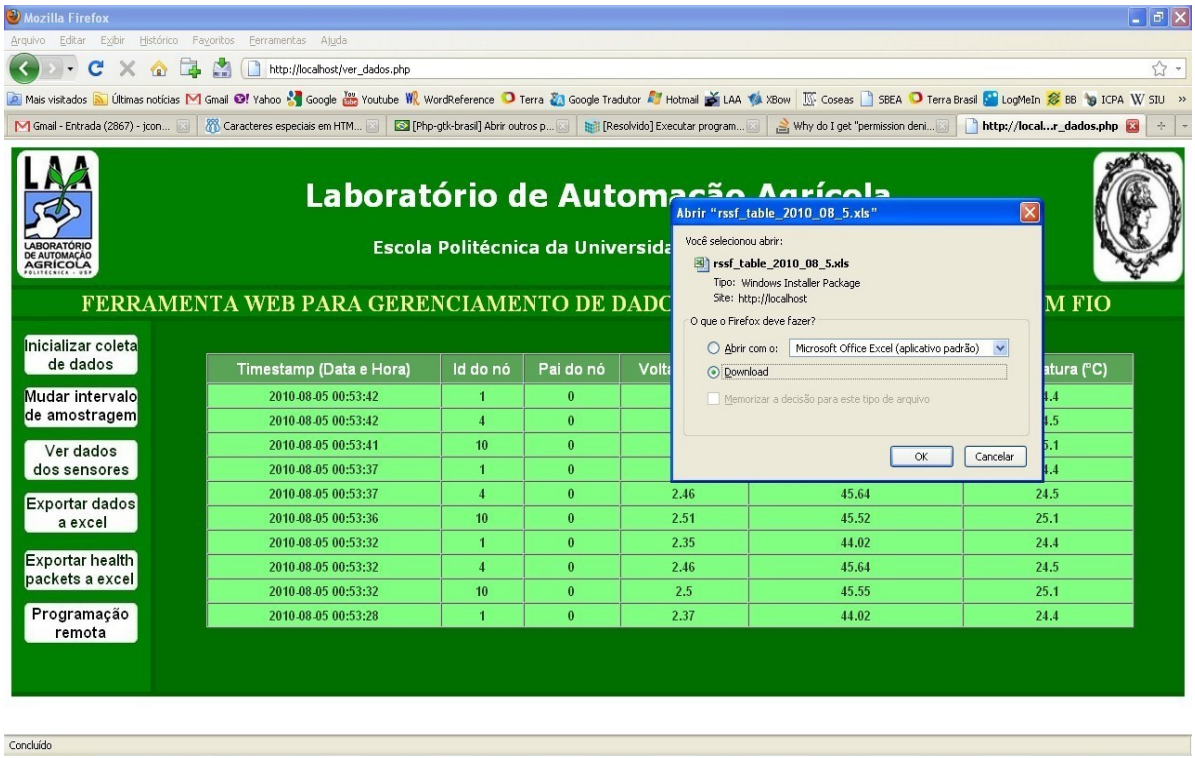


Figura 63 - Tela para mudar o intervalo de amostragem dos nós.



Timestamp (Data e Hora)	Id do nó	Pai do nó	Voltagem (V)	Umidade Relativa (%)	Temperatura (°C)
2010-08-05 00:50:27	1	0	2.35	43.98	24.4
2010-08-05 00:50:26	4	0	2.46	45.64	24.5
2010-08-05 00:50:26	10	0	2.5	45.48	25.1
2010-08-05 00:50:22	1	0	2.36	43.97	24.3
2010-08-05 00:50:21	4	0	2.46	45.64	24.5
2010-08-05 00:50:21	10	0	2.5	45.52	25.1
2010-08-05 00:50:17	1	0	2.35	43.98	24.4
2010-08-05 00:50:17	4	0	2.46	45.64	24.5
2010-08-05 00:50:16	10	0	2.5	45.55	25.1
2010-08-05 00:50:12	1	0	2.36	44	24.3

Figura 64 - Tela para visualizar os dados coletados pelos nós.



Timestamp (Data e Hora)	Id do nó	Pai do nó	Volt		atura (°C)
2010-08-05 00:53:42	1	0			4.4
2010-08-05 00:53:42	4	0			4.5
2010-08-05 00:53:41	10	0			5.1
2010-08-05 00:53:37	1	0			4.4
2010-08-05 00:53:37	4	0	2.46	45.64	24.5
2010-08-05 00:53:36	10	0	2.51	45.52	25.1
2010-08-05 00:53:32	1	0	2.35	44.02	24.4
2010-08-05 00:53:32	4	0	2.46	45.64	24.5
2010-08-05 00:53:32	10	0	2.5	45.55	25.1
2010-08-05 00:53:28	1	0	2.37	44.02	24.4

Figura 65 - Tela para exportar os dados e os *health packets*, armazenados no banco de dados, para planilhas compatíveis com o Excel.

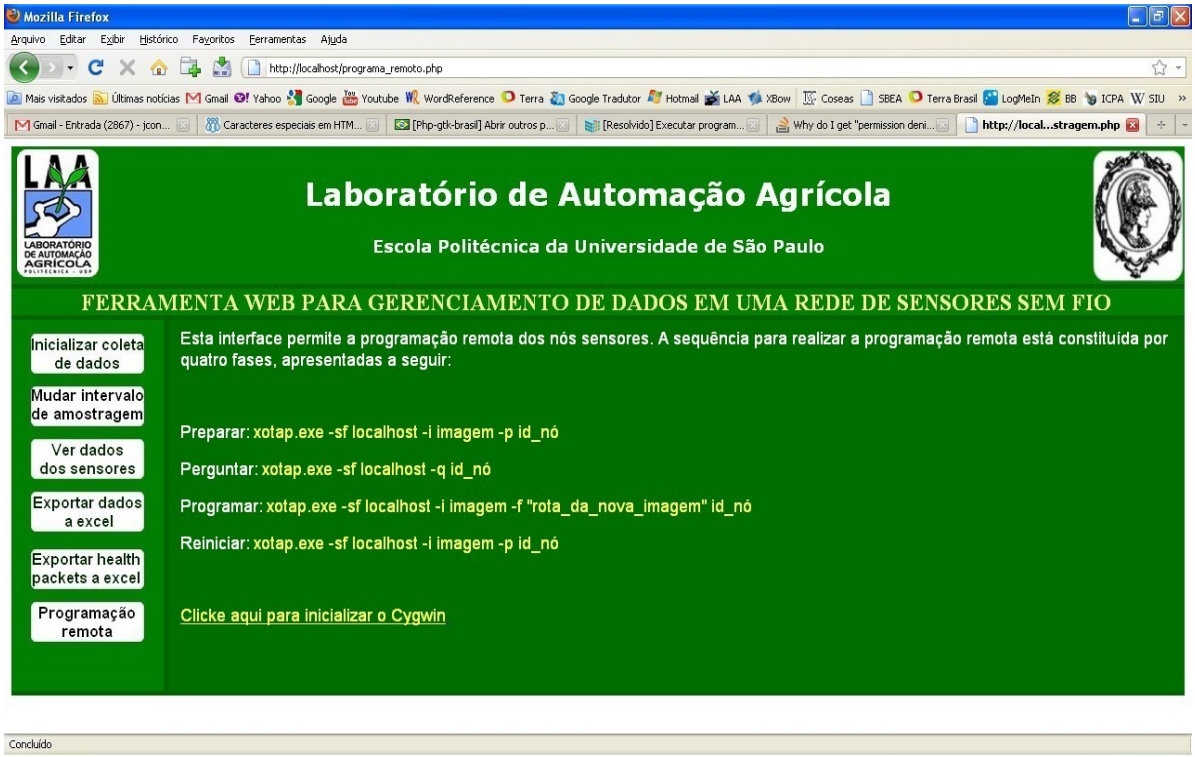


Figura 66 - Tela para realizar a programação remota dos nós.

6.5 PROGRAMAÇÃO REMOTA

Para mudar os valores das variáveis (limiares superior, inferior e intervalos de amostragem) foi utilizada a programação remota dos nós, uma característica das redes XMesh da MEMSIC. Ela também é denominada OTAP (*Over-The-Air-Programming*) e permite programar os nós com um novo aplicativo. Os nós, como já descrito no item 4.2.1.1.2, têm uma memória *flash* de 512 KB, particionada em quatro bancos de 128 KB cada (0, 1, 2 e 3). Nos bancos 1, 2 e 3 podem-se armazenar imagens de novos aplicativos, sendo o banco 0 utilizado para armazenar a imagem OTAP, que torna possível a programação remota dos nós (XMESH, 2010). A seguir é mostrada a sequência para programar um nó com um novo aplicativo:

- **preparar:** o nó é inicializado com a imagem instalada no banco 0 (OTAP), mostrada na Figura 67;

```
/opt/MoteWorks/tools/xotap/bin.cygwin.x86
Juan Carlos@nbjuan /opt/MoteWorks/tools/xotap/bin.cygwin.x86
$ xotap.exe -sf localhost -i 0 -p 1
WARNING: Minimum throttle using serial forwarder is 30.  Setting throttle to min
imum throttle
Options:
        cmd = boot
        sf = localhost:9001
        group id = 129
        debug = 1
        html report file = xotap.html
        image id = 0
        motes = 1
Rebooting mote 1 with image 0
1 of 1 motes done
Finished: 1 motes successful, 0 motes failed
```

Figura 67 - Tela que mostra a inicialização do nó com a imagem do banco 0 (OTAP).

- **perguntar:** é realizada uma consulta para se obter o conteúdo dos bancos de memória (Figura 68);

```
/opt/MoteWorks/tools/xotap/bin.cygwin.x86
Juan Carlos@nbjuan /opt/MoteWorks/tools/xotap/bin.cygwin.x86
$ xotap.exe -sf localhost -q 1
WARNING: Minimum throttle using serial forwarder is 30.  Setting throttle to min
imum throttle
Options:
        cmd = query
        sf = localhost:9001
        group id = 129
        debug = 1
        html report file = xotap.html
        motes = 1
Mote 1 (micaz),time since reboot: 36 sec, voltage: 2.7, boot image: 0
        Image   flash[start/stop]       size    checksum        Type
        0         0/ 14                  28423  8afd    bootable
        1        64/ 90                  52447  3a9c    bootable
        2       ****empty***
        3       ****empty***
1 of 1 motes done
Finished: 1 motes successful, 0 motes failed
```

Figura 68 - Tela que mostra o conteúdo dos bancos de memória *flash* do nó.

- **programar:** processo pelo qual é instalado um novo aplicativo em um dos bancos da memória *flash* (Figura 69);

```
/opt/MoteWorks/tools/xotap/bin.cygwin.x86
Juan Carlos@nbjuan /opt/MoteWorks/tools/xotap/bin.cygwin.x86
$ xotap.exe -sf localhost -i 2 -f "../../../apps/xmesh/XMTS400_taxavariavel_5/b
uild/micaz/main.ihex" 1
WARNING: Minimum throttle using serial forwarder is 30.  Setting throttle to min
imum throttle
Options:
        cmd = download
        sf = localhost:9001
        group id = 129
        debug = 1
        html report file = xotap.html
        image id = 2
        file = ../../../apps/xmesh/XMTS400_taxavariavel_5/build/micaz/main.ihex
        flash offset = 128
        bootable = 1
        min voltage = 2.7
        throttle = 30
        motes = 1
Mote 1 (micaz),time since reboot: 5.4 min, voltage: 2.7, boot image: 0
Binary conversion complete, size = 52447 (22 pages, 2761 fragments)
Starting download
Downloading Page 1 of 22
        Page 1, mote 1: 128 fragments, throttle = 30 msec
        Page 1, mote 1: 0 fragments, throttle = 30 msec
Page 1 finished
Downloading Page 2 of 22
        Page 2, mote 1: 128 fragments, throttle = 30 msec
        Page 2, mote 1: 0 fragments, throttle = 30 msec
Page 2 finished
Downloading Page 3 of 22
        Page 3, mote 1: 128 fragments, throttle = 30 msec
        Page 3, mote 1: 0 fragments, throttle = 30 msec
Page 3 finished
Downloading Page 4 of 22
        Page 4, mote 1: 128 fragments, throttle = 30 msec
        Page 4, mote 1: 0 fragments, throttle = 30 msec
Page 4 finished
Downloading Page 5 of 22
        Page 5, mote 1: 128 fragments, throttle = 30 msec
        Page 5, mote 1: 0 fragments, throttle = 30 msec
Page 5 finished
```

Figura 69 - Tela que mostra a programação de um dos bancos de memória com uma nova imagem (aplicativo).

- **reiniciar:** é reinicializado o nó com uma nova imagem previamente instalada (Figura 70).

```
/opt/MoteWorks/tools/xotap/bin.cygwin.x86
Juan Carlos@nbjuan /opt/MoteWorks/tools/xotap/bin.cygwin.x86
$ xotap.exe -sf localhost -i 2 -p 1
WARNING: Minimum throttle using serial forwarder is 30.  Setting throttle to min
imum throttle
Options:
        cmd = boot
        sf = localhost:9001
        group id = 129
        debug = 1
        html report file = xotap.html
        image id = 2
        motes = 1
Rebooting mote 1 with image 2
1 of 1 motes done
Finished: 1 motes successful, 0 motes failed
```

Figura 70 - Tela que mostra a reinicialização do nó com uma nova imagem (aplicativo).

6.6 AVALIAÇÃO DO TEMPO DE VIDA DOS NÓS

Neste item, apresenta-se a avaliação realizada para determinar o perfil de descarga das baterias utilizadas para o funcionamento dos nós da RSSF, sendo a avaliação realizada considerando ambos os modos de operação do protocolo XMesh: High Power (HP) e Low Power (LP). São detalhados a seguir, os experimentos realizados e, posteriormente, os resultados alcançados; a descrição dos cenários experimentais (sala do LAA e parreiral experimental) foi realizada no item 4.3.

6.6.1 Descrição dos experimentos

6.6.1.1 Avaliação do tempo de vida dos nós

Como já descrito no item 4.2.2.1, o protocolo XMesh tem dois modos de operação (HP e LP) (XMESH, 2010). A principal diferença entre eles é o gerenciamento de energia, o qual determinará o tempo de vida dos nós. Foram realizados diferentes experimentos com o objetivo de se obter um perfil em relação à duração das baterias (sendo utilizadas duas pilhas AA como fonte de alimentação dos nós), de forma que seja possível estimar o tempo de vida dos nós para ambos os modos de operação avaliados (HP e LP).

6.6.1.1.1 Avaliação do tempo de vida dos nós no laboratório

Considerando os tipos de baterias disponíveis no laboratório foi verificado o seu tempo de duração como fonte de energia dos nós. Para tal finalidade foram realizados experimentos tanto com as baterias recarregáveis (2100 e 2500 mAh) como com as baterias alcalinas não recarregáveis. A topologia montada no laboratório é mostrada na Figura 71. Considerou-se um nó MICAz com placa sensora MTS400 (id 1), programado no modo HP e uma estação base MIB520, ambos os dispositivos programados na potência máxima de transmissão (0 dBm).

Para o gerenciamento dos dados foi utilizado o software MoteView 2.0F: tanto o nó como a estação base foram posicionados a uma altura de 1,20 m do solo

e a uma distância de 1,0 m entre eles. A coleta dos dados foi realizada com um intervalo de amostragem de 3 min.

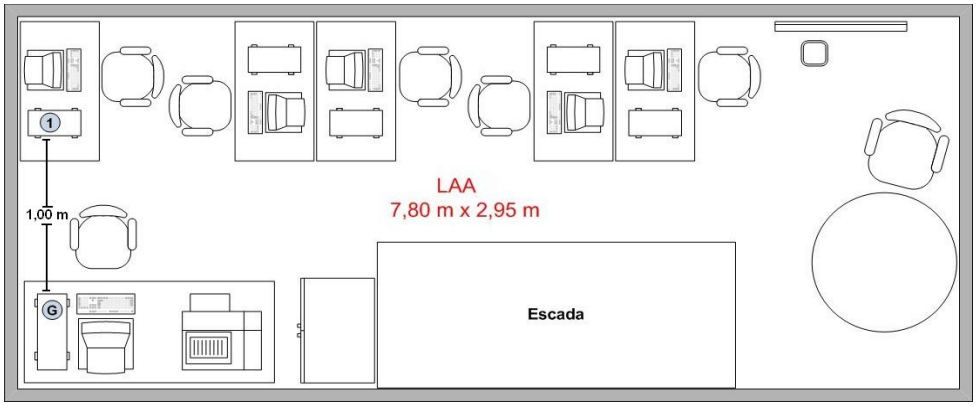


Figura 71 - Topologia montada no laboratório para avaliar o tempo de vida dos nós, para o modo de operação HP.

Um segundo experimento permitiu avaliar aspectos como distância entre os nós e a estação base, além de nós operando como roteadores na rede, com o objetivo de relacionar esses aspectos com a duração das baterias. Dessa vez, foi montada uma rede constituída por quatro nós (plataforma MICAz e placa MTS400) e uma estação base (MIB520), distribuídos como apresentado na Figura 72.

Avaliou-se o tempo de vida dos nós para ambos os modos de operação (HP e LP). Para o experimento quando os nós foram programados no modo HP, utilizou-se um intervalo de amostragem de 5 min e os nós ficaram operando até as baterias acabarem. Para o experimento quando os nós foram programados no modo LP, foi utilizado um intervalo de amostragem de 3 min (intervalo *by default* para o modo LP) e os nós ficaram coletando dados por um período de 144 h ininterruptas.

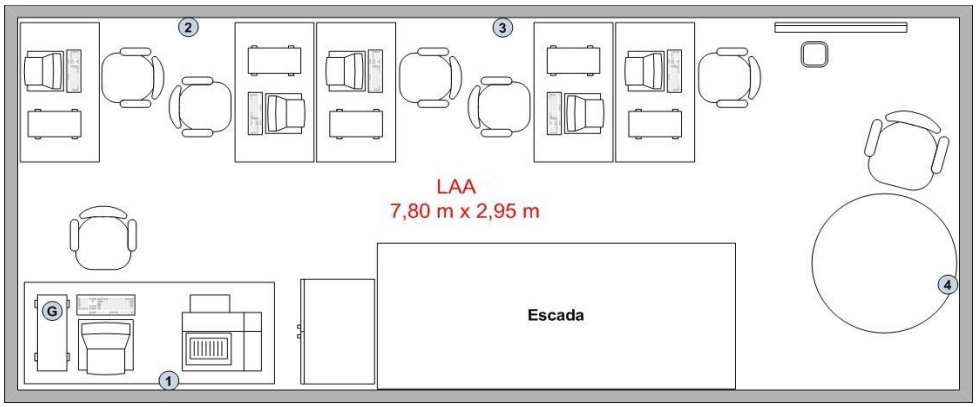


Figura 72 - Topologia montada no laboratório para avaliar o tempo de vida dos nós, para os modos de operação HP e LP.

A estação base, indicada como G na Figura 72, foi posicionada a uma altura de 1,20 m do solo. Na Tabela 20 apresentam-se as distâncias entre os nós e a estação base, assim como suas respectivas alturas em relação ao solo.

Tabela 20 - Distância entre os nós e a estação base e altura na qual foram posicionados.

Id do nó	Distância até a estação base (m)	Altura (m)
1	1,17	0,95
2	2,64	1,30
3	4,90	1,30
4	7,50	1,30

6.6.1.1.2 Avaliação do tempo de vida dos nós no parreiral

No parreiral foi instalada a RSSF experimental constituída por dez nós (nove plataformas MICAz com placa sensora MTS400 e uma plataforma MICAz com placa sensora MTS420) e uma estação base (MIB520), todos programados no modo LP. Os nós foram configurados para coletar dados a cada 5 min, durante um período de 135 h ininterruptas. Na Figura 73 é mostrada a distribuição dos nós no parreiral.

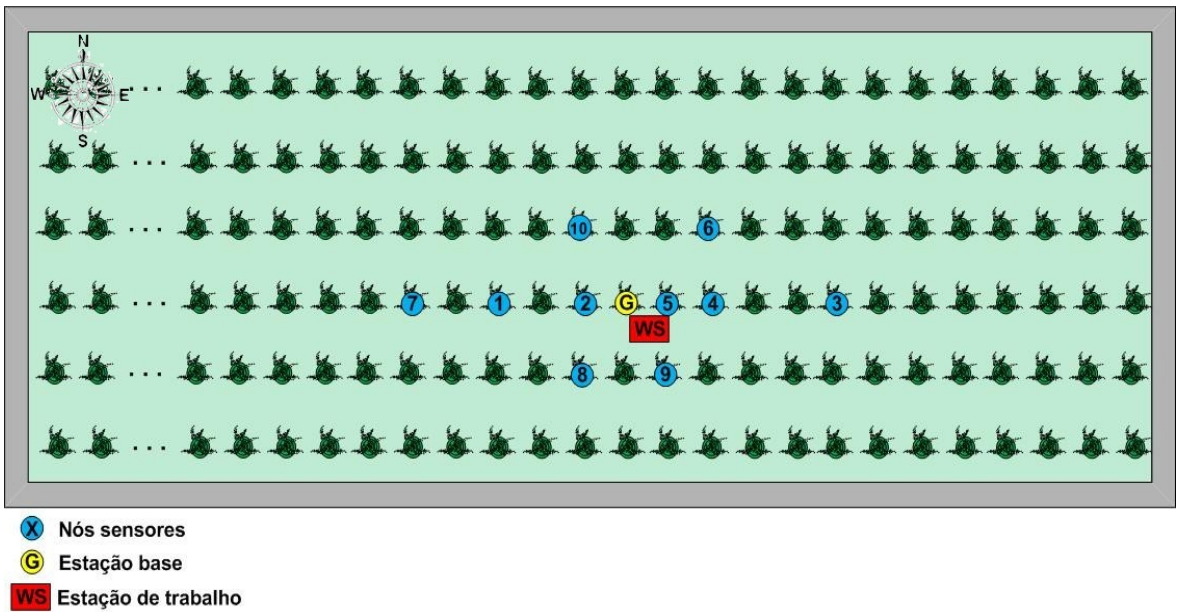


Figura 73 - Distribuição dos nós no parreiral.

Durante a coleta dos dados, os nós foram posicionados na altura do dossel

das videiras (2,10 m do solo), enquanto a estação base foi fixada ao lado de uma das videiras, na altura do cacho (1,85 m do solo), como mostrado na Figura 74. Na Tabela 21 apresenta-se a distância dos diferentes nós em relação à estação base.

Figura 74 - Estação base posicionada ao lado da videira (lado esquerdo). Nó localizado na altura do dossel da videira (lado direito).

Tabela 21 - Distância entre os nós e a estação base.

Id do nó	Distância até a estação base (m)
Nó 1	6,60
Nó 2	2,60
Nó 3	14,90
Nó 4	6,90
Nó 5	3,70
Nó 6	7,89
Nó 7	10,20
Nó 8	3,50
Nó 9	4,61
Nó 10	3,40

6.6.2 Resultados experimentais

6.6.2.1 Avaliação do tempo de vida dos nós realizada no laboratório

6.6.2.1.1 Tempo de vida dos nós no modo de operação HP

Na Tabela 22 apresentam-se os valores experimentais obtidos (voltagem inicial e final, descarga realizada e tempo de vida máximo) para os três tipos de baterias avaliados: alcalinas não recarregáveis (Duracell®) e recarregáveis (2.100 e 2.500 mAh), sendo que a coleta de dados foi realizada a cada 3 min. Os dados em relação à voltagem das baterias foram obtidos utilizando o software MoteView 2.0F,

que permite visualizar além dos dados coletados pela placa sensora, a voltagem disponível nas baterias dos nós.

Tabela 22 - Tempo de vida de um nó, operando no modo HP, para três diferentes tipos de baterias.

	Duracell®	2.100 mAh	2.500 mAh
Voltagem inicial (V)	3,1625	2,7225	2,7646
Voltagem final (V)	2,1155	2,1518	2,1226
Descarga (V)	1,0470	0,5707	0,6420
Tempo de vida (h)	99	79	77

O tempo máximo de operação conseguido foi o seguinte: baterias alcalinas Duracell® não recarregáveis (99 h), baterias recarregáveis de 2.100 mAh (79 h) e de 2.500 mAh (77 h). Em média, observou-se que, um nó (plataforma MICAz com placa sensora MTS400) consegue operar normalmente com uma voltagem mínima de até 2,20 V; quando a voltagem é menor, as leituras realizadas pela placa sensora apresentam valores errôneos. Na Figura 75 apresenta-se o perfil de descarga para os três diferentes tipos de baterias avaliadas. Foi esperado se obter um maior tempo de vida das baterias recarregáveis de 2.500 mAh em relação às de 2.100 mAh, porém, como mostrado na Tabela 22, este foi menor. Existem diferentes fatores que poderiam ter influenciado para este fato acontecer, dentre eles, o tempo de uso das baterias ou a repentina descarga acontecida quando as baterias de 2.500 mAh estavam em torno de 2,3 V (como mostrado na Figura 75).

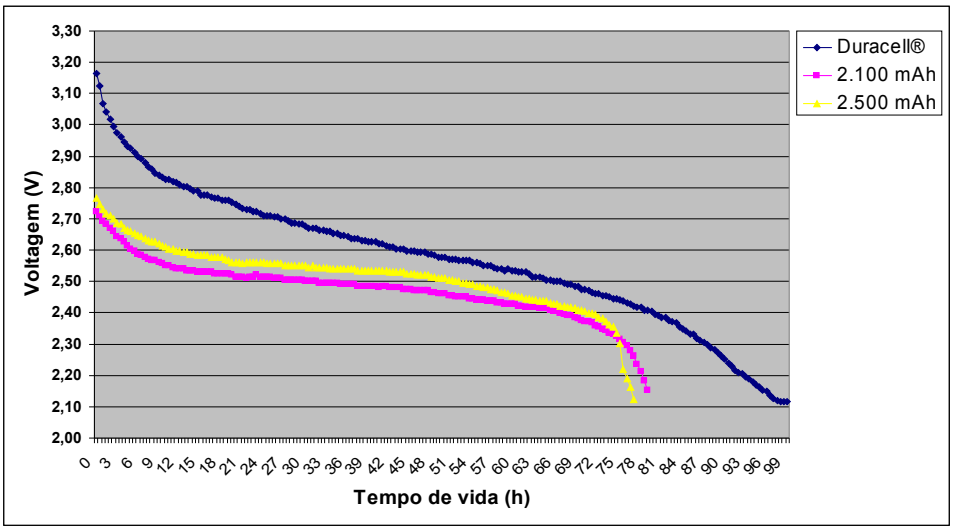


Figura 75 - Perfil de descarga para as baterias avaliadas no modo de operação HP.

Um segundo experimento, no qual foram distribuídos quatro nós na sala do LAA, permitiu avaliar o tempo médio de vida da rede, quando se tem nós operando como roteadores, posicionados a diferentes distâncias de transmissão. Como fonte de alimentação foram utilizadas baterias recarregáveis de 2.100 mAh (duas pilhas AA), sendo os nós configurados para trabalhar: na potência máxima de transmissão (0 dBm), no modo de operação HP e para coletar dados a cada 5 min. Na Tabela 23 são apresentados os valores experimentais obtidos.

Tabela 23 - Tempo de vida dos nós da RSSF implantada no laboratório. Foram utilizadas baterias recarregáveis de 2.100 mAh, com os nós operando no modo HP.

	Nó 1	**Nó 2**	**Nó 3**	**Nó 4**
Voltagem inicial (V)	2,7768	2,7768	2,7344	2,7830
Voltagem final (V)	2,1083	2,1518	2,1705	2,1971
Descarga (V)	0,6685	0,6250	0,5639	0,5859
Tempo de vida (h)	87	86	83	84

Em média, conseguiu-se um tempo de vida de 85 h, existindo proximidade entre os resultados conseguidos para cada um dos nós (s=1,83). A diferença entre os tempos de vida dos quatro nós é resultado das distâncias de posicionamento (nós 3 e 4 ficaram a maior distância da estação base) e do número de pacotes de dados retransmitidos por cada nó (nós 2 e 3 realizaram uma maior retransmissão de pacotes). Na Figura 76 é mostrado o perfil de descarga das baterias para os quatro nós que constituíram a rede.

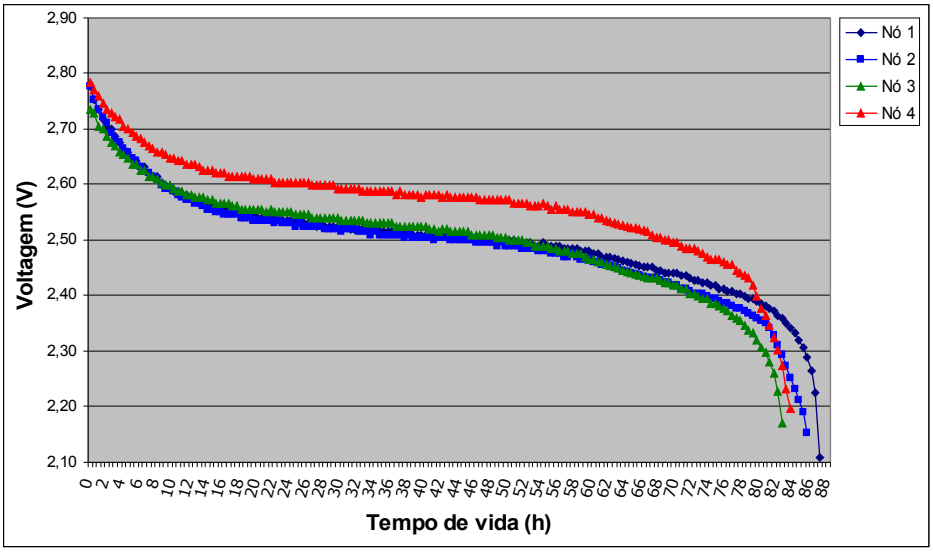


Figura 76 - Tempo de vida dos quatro nós implantados no laboratório, modo de operação HP.

6.6.2.1.2 Tempo de vida dos nós no modo de operação LP

Com a mesma distribuição dos nós da RSSF na sala do LAA, utilizada para realizar o experimento anterior, realizou-se um segundo experimento para avaliar o perfil de descarga das baterias recarregáveis de 2.100 mAh, procurando obter dados que permitam estimar o tempo de vida dos nós no modo de operação LP. O intervalo de amostragem considerado para coletar os dados foi de 3 min e de 20 min, para a coleta dos *health packets* (configuração *by default* no modo LP), sendo que a rede ficou operando por um período de 144 h ininterruptas. Na Tabela 24 são apresentados os resultados conseguidos em relação à descarga das baterias para os quatro nós utilizados durante o tempo que foi realizado o experimento.

Tabela 24 - Perfil de descarga dos nós da RSSF implantada no laboratório com baterias recarregáveis de 2.100 mAh, modo de operação LP.

	Nó 1	**Nó 2**	**Nó 3**	**Nó 4**
Voltagem inicial (V)	2,6875	2,7585	2,7404	2,7892
Voltagem final (V)	2,5663	2,6200	2,6255	2,6477
Descarga (V)	0,1212	0,1385	0,1149	0,1415

Na Tabela 25 mostram-se o número de pacotes de dados e *health packets* recebidos na estação base a partir de cada nó, assim como o número de pacotes que cada nó encaminhou dos seus filhos. Considera-se também, a proporção entre o número de pacotes recebidos na estação base, gerados desde cada nó, e o número de pacotes retransmitidos.

Tabela 25 - Número de pacotes de dados e *health packets*, recebidos na estação base e retransmitidos, para os quatro nós que constituíram a rede.

Id do nó	**Pacotes recebidos na estação base**				**Pacotes retransmitidos**			
	Número de pacotes recebidos		**Porcentagem de pacotes recebidos**		**Número de pacotes retransmitidos**		**Porcentagem de pacotes retransmitidos**	
	Pacotes de dados	***Health packets***	**Pacotes de dados**	***Health packets***	**Pacotes de dados**	***Health packets***	**Pacotes de dados**	***Health packets***
1	2.418	361	65,46	64,23	1.276	201	34,54	35,77
2	2.407	366	58,71	60,00	1.693	244	41,29	40,00
3	2.270	360	51,13	52,33	2.170	328	48,87	47,67
4	2.437	354	64,49	62,77	1.342	210	35,51	37,23

Em média, registrou-se uma descarga de 0,1290 V para o período de tempo

avaliado (144 h), que compreende a descarga produzida devido ao número de pacotes de dados e *health packets* enviados por cada nó, recebidos na estação base, e ao número de pacotes retransmitidos desde os seus nós filhos. A proporção entre os pacotes recebidos a partir de cada nó e os retransmitidos por eles foi estimada em 60% – 40%, respectivamente. Considerando a descarga média da rede, estimou-se que para o envio dos seus pacotes (dados e *health packets*) cada nó utilizou 0,0774 V para as 144 h avaliadas, resultando em 0,5375 mV/h. A voltagem disponível nas baterias recarregáveis é de 0,4 V (entre 2,8 e 2,4 V), dessa forma, calcula-se um tempo de vida de 31 d, se os nós operassem em uma topologia estrela e de 19 d, quando a porcentagem de pacotes encaminhados fosse do 40%, como no caso do experimento realizado.

Devido a diferentes motivos, não foi possível deixar os nós operando ininterruptamente até as baterias acabarem (limitações de tempo para desenvolver o trabalho, outras pesquisas com a RSSF por parte do grupo, etc.), considerou-se estimar o tempo de vida dos nós em função da descarga realizada no período de tempo avaliado e confrontá-lo com um modelo teórico, desenvolvido para calcular o tempo de vida das baterias, descrito no item 6.7.2.4. Na Figura 77 são apresentados os perfis de descarga das baterias utilizadas para o funcionamento dos quatro nós que constituíram a rede, durante o período que foi realizado o experimento.

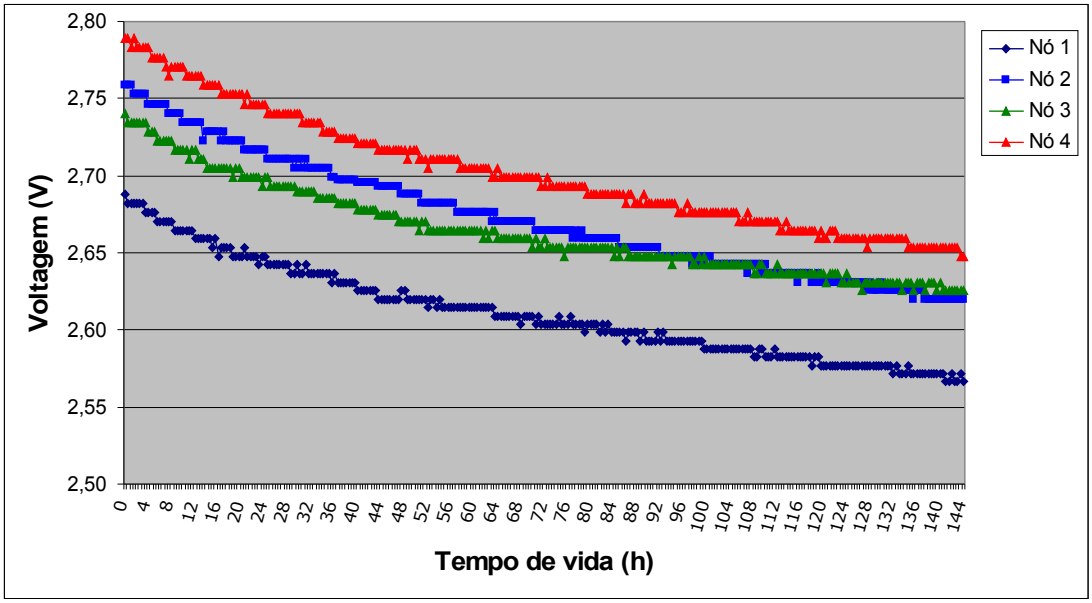


Figura 77 - Perfil de descarga dos nós da RSSF implantada no laboratório com baterias recarregáveis de 2.100 mAh, modo de operação LP.

6.6.2.2 Avaliação do perfil de descarga das baterias dos nós para o experimento realizado no parreiral experimental

No parreiral, foi realizada a coleta dos dados com um intervalo de amostragem de 5 min, para avaliar a descarga das baterias utilizadas para o funcionamento dos nós e poder estimar o seu tempo de vida. Para o experimento, os nós foram programados para operar no modo LP, na máxima potência de transmissão (0 dBm), coletando dados durante um período de 135 h ininterruptas. O nó 7, com placa sensora MTS420 (com receptor GPS embarcado), embora tenha sido configurado no modo LP, as suas baterias apresentaram um perfil de descarga de um nó operando no modo HP. Pelas pesquisas nos foros relacionados, encontrou-se que a MEMSIC não considerou desenvolver um aplicativo específico para que um nó com placa MTS420 pudesse operar no modo LP. O motivo é que as aplicações que contemplam o uso desta placa precisam que o módulo GPS permaneça ligado para pegar o sinal dos satélites, resultando em um maior consumo de energia e uma rápida descarga das baterias. Uma solução é modificar o aplicativo original para que o módulo GPS permaneça desligado, adotando-se ligar ele ocasionalmente, segundo a aplicação a ser implementada (STANZA, 2010).

Este problema levou a que os dados relacionados ao nó 7 não foram considerados na análise. Apresentam-se, na Tabela 26, os dados de voltagem (inicial, final e descarga), tipo de bateria utilizada e distância até a estação base para os nós que constituíram a rede.

Tabela 26 - Dados experimentais para os nós da rede implantada no parreiral.

Id do nó	Voltagem Inicial (V)	Voltagem Final (V)	Descarga (V)	Tipo de bateria	Distância até a estação base (m)
1	2,6365	2,6145	0,0220	2.500 mAh	6,60
2	3,0032	2,9537	0,0495	Não recarregável	2,60
3	3,2613	3,1076	0,1537	Não recarregável	14,90
4	3,2444	3,0695	0,1749	Não recarregável	6,90
5	2,7107	2,6817	0,0290	2.100 mAh	3,70
6	2,5716	2,5249	0,0467	2.500 mAh	7,89
7	----	----	----	----	10,20
8	2,6365	2,5929	0,0436	2.500 mAh	3,50
9	2,5716	2,5506	0,0210	2.100 mAh	4,61
10	2,5716	2,5506	0,0210	2.500 mAh	3,40

Na Tabela 27 são mostrados: o número de pacotes de dados e *health packets* recebidos na estação base a partir de cada nó, assim como o número de pacotes retransmitidos por cada nó. Considera-se também, a proporção entre o número de pacotes recebidos na estação base, gerados por cada nó, e de pacotes retransmitidos.

Tabela 27 - Dados experimentais para os nós da rede implantada no parreiral.

Id do nó	Pacotes recebidos na estação base				Pacotes retransmitidos			
	Número de pacotes recebidos		Porcentagem de pacotes recebidos		Número de pacotes retransmitidos		Porcentagem de pacotes retransmitidos	
	Pacotes de dados	*Health packets*	Pacotes de dados	*Health packets*	Pacotes de dados	*Health packets*	Pacotes de dados	*Health packets*
1	1.297	338	96,72	96,30	44	13	3,28	3,70
2	1.532	388	99,35	99,49	10	2	0,65	0,51
3	1.436	365	100,00	100,00	0	0	0,00	0,00
4	1.530	383	51,67	51,34	1.431	363	48,33	48,66
5	1.530	376	89,01	89,95	189	42	10,99	10,05
6	1.537	389	55,35	55,97	1.240	306	44,65	44,03
7	1.230	335	55,48	56,49	987	258	44,52	43,51
8	1.449	389	93,42	94,19	102	24	6,58	5,81
9	1.386	394	53,27	56,29	1.216	306	46,73	43,71
10	1.533	390	98,97	98,24	16	7	1,03	1,76

A descarga média registrada nas baterias recarregáveis (utilizadas para alimentar os nós 1, 5, 6, 8, 9 e 10) foi de 0,0306 V para o período de tempo avaliado (135 h). Considerando, em média, que os nós apresentaram uma proporção entre o número de pacotes gerados pelo nó, recebidos na estação base, e o número de pacotes retransmitidos (pacotes de dados e *health packets*), de 81,5% – 18,5% respectivamente. A descarga média, realizada pelo número de pacotes enviados por cada nó, foi estimada em 0,0249 V para as 135 h avaliadas, resultando em 0,1844 mV/h.

Como a faixa de voltagem disponível nas baterias recarregáveis é de 0,4 V, calcula-se um tempo de vida de 90 d, no caso de os nós operassem em uma topologia estrela e de 73 d se a porcentagem de pacotes retransmitidos por cada nó fosse em torno do 18,5%, como foi percebido no experimento realizado.

6.7 AVALIAÇÃO DA COLETA DE DADOS UTILIZANDO UM INTERVALO DE AMOSTRAGEM VARIÁVEL

Para avaliar experimentalmente a proposta do trabalho, de realizar o monitoramento de um ambiente utilizando um intervalo de amostragem variável, foi realizado um experimento na sala do LAA. Procuraram-se estimar o número de pacotes enviados por cada nó que fez parte da rede e o perfil de descarga das baterias para o período de tempo no qual foi conduzido o experimento. Nos próximos itens são descritos: a configuração do experimento, os resultados obtidos, o modelo projetado para estimar o tempo de vida das baterias e as discussões relacionadas.

6.7.1 Configuração experimental

Utilizando seis nós (plataforma MICAz com placa sensora MTS400) foi realizada a coleta de dados ambientais na sala do LAA (temperatura e umidade relativa do ar), sendo modificado para tal finalidade o aplicativo original (XMTS400), ficando habilitado somente o sensor Sensirion SHT11. De acordo com as considerações prévias em relação ao comportamento da temperatura na sala, foram implementados três diferentes tipos de coleta de dados, sendo uma fixa e duas variáveis, como descrito na Tabela 28, na qual também são apresentados o identificador do nó e a bateria utilizada.

Os nós foram programados para enviar seus dados na máxima potência de transmissão (0 dBm) e no modo de operação LP, considerando-se que o experimento teve um período de duração de 208 h e 7 min (12.487 min) ininterruptas. A coleta dos *health packets* foi realizada a cada 20 min (configuração *by default* para o modo de operação LP).

Na Figura 78 é mostrada a localização dos nós na sala. Todos foram posicionados a 2,00 m de distância da estação base e a uma altura de 1,20 m do solo. Para a coleta dos dados foi utilizado o software MoteView 2.0 F, permitindo a coleta dos dados de temperatura, umidade relativa e voltagem disponível nas baterias, além dos *health packets*.

Tabela 28 - Descrição do experimento para avaliar a coleta de dados utilizando um intervalo de amostragem variável.

Id do nó	Condição para coleta de dados	Tipo de bateria
1	Intervalo de amostragem fixo, cada 5 s.	2.100 mAh
2	Intervalo de amostragem variável, entre 23 e 26 ºC coletou-se dados com um intervalo de amostragem de 30 s, em outro caso o intervalo de amostragem foi de 5 s.	2.100 mAh
3	Intervalo de amostragem variável, entre 22 e 28 ºC coletou-se dados com um intervalo de amostragem de 30 s, em outro caso o intervalo de amostragem foi de 5 s.	2.100 mAh
4	Intervalo de amostragem fixo, cada 5 s.	2.500 mAh
6	Intervalo de amostragem variável, entre 23 e 26 ºC coletou-se dados com um intervalo de amostragem de 30 s, em outro caso o intervalo de amostragem foi de 5 s.	2.500 mAh
8	Intervalo de amostragem variável, entre 22 e 28 ºC coletou-se dados com um intervalo de amostragem de 30 s, em outro caso o intervalo de amostragem foi de 5 s.	2.500 mAh

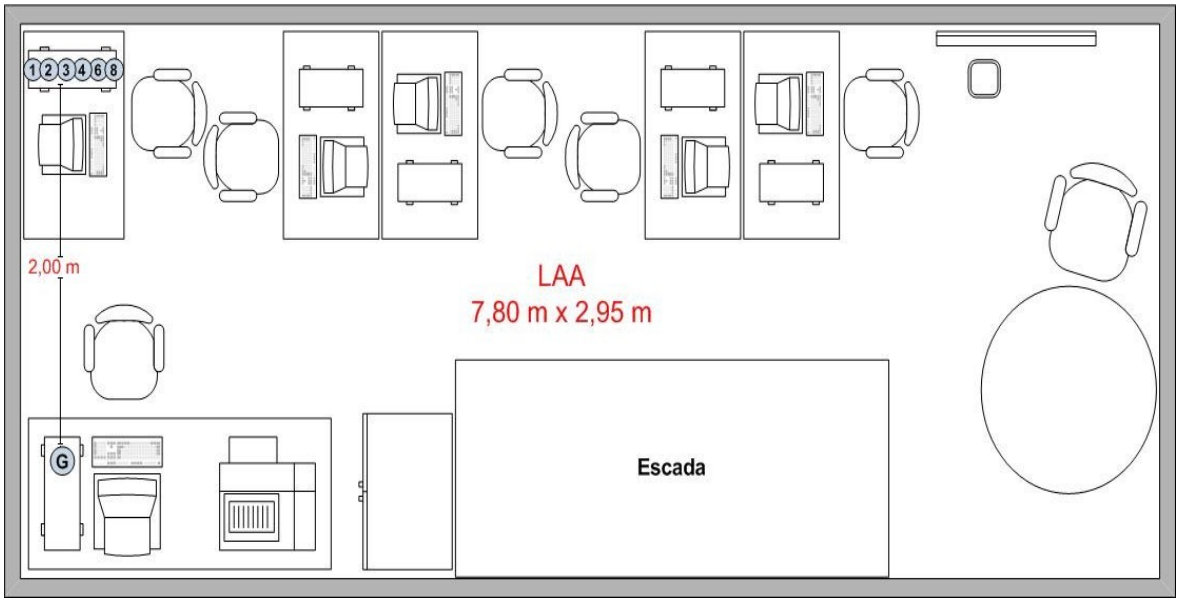


Figura 78 - Distribuição dos nós na sala do LAA.

No próximo item são apresentados os resultados obtidos da realização do experimento para avaliar a coleta de dados por meio de um intervalo de amostragem variável.

6.7.2 Resultados experimentais

6.7.2.1 Avaliação do comportamento da temperatura na sala do LAA

Durante o período de tempo avaliado, na sala do LAA, foi observado o perfil de temperatura mostrado na Figura 79.

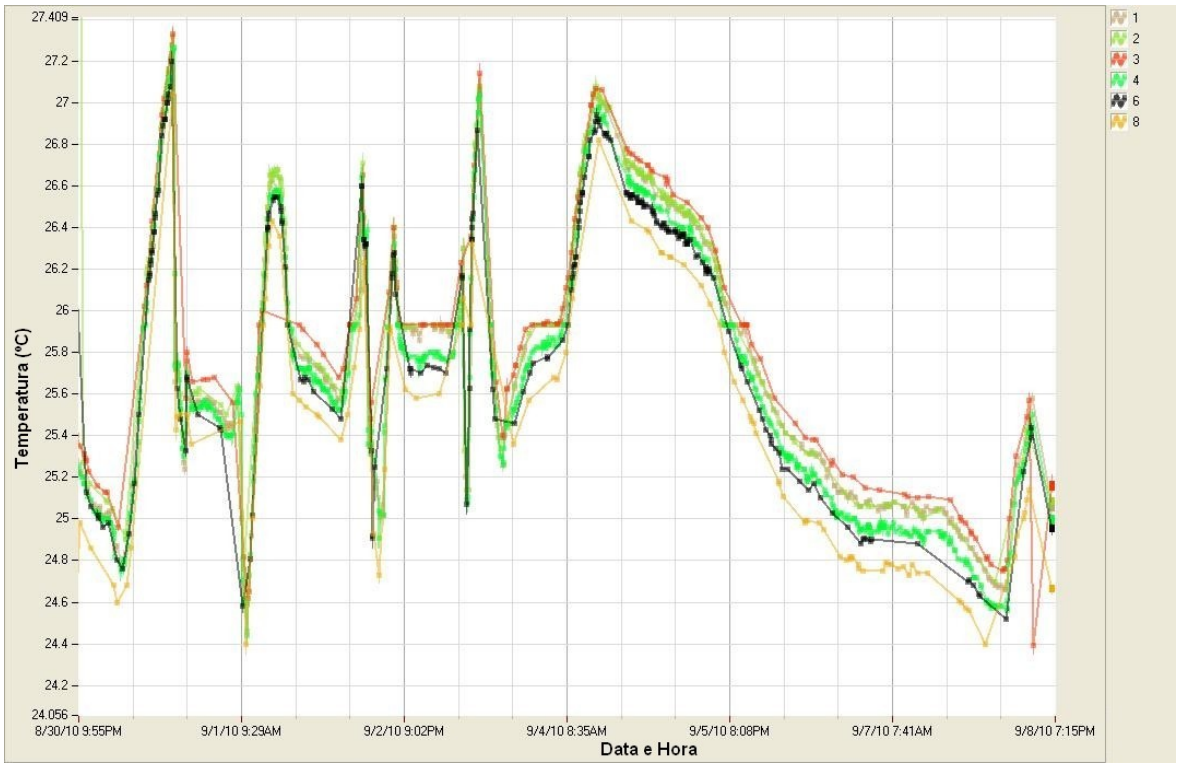


Figura 79 - Temperatura na sala do LAA durante o período de tempo avaliado.

O intervalo no qual a temperatura variou foi de 24,4 a 27,4 ºC, o que significa que somente os nós 2 e 6 reconfiguraram o seu intervalo de amostragem quando a temperatura ultrapassava o valor de 26 ºC (mudando entre 5 e 30 s). Já para o caso dos nós 1 e 4, eles coletaram os seus dados a cada 5 s (intervalo de amostragem fixo) e para o caso dos nós 3 e 8, como a temperatura permaneceu no intervalo fixado (entre 22 e 28 ºC), a coleta de dados foi realizada a cada 30 s.

Na Figura 80, como uma forma de exemplificar essa mudança automática no intervalo de coleta de dados, são mostrados os dados coletados pelos nós 1, 3 e 6; pode-se observar a mudança no intervalo de coleta de dados do nó 6 (em preto) quando ele passa o limiar estabelecido (26 ºC).

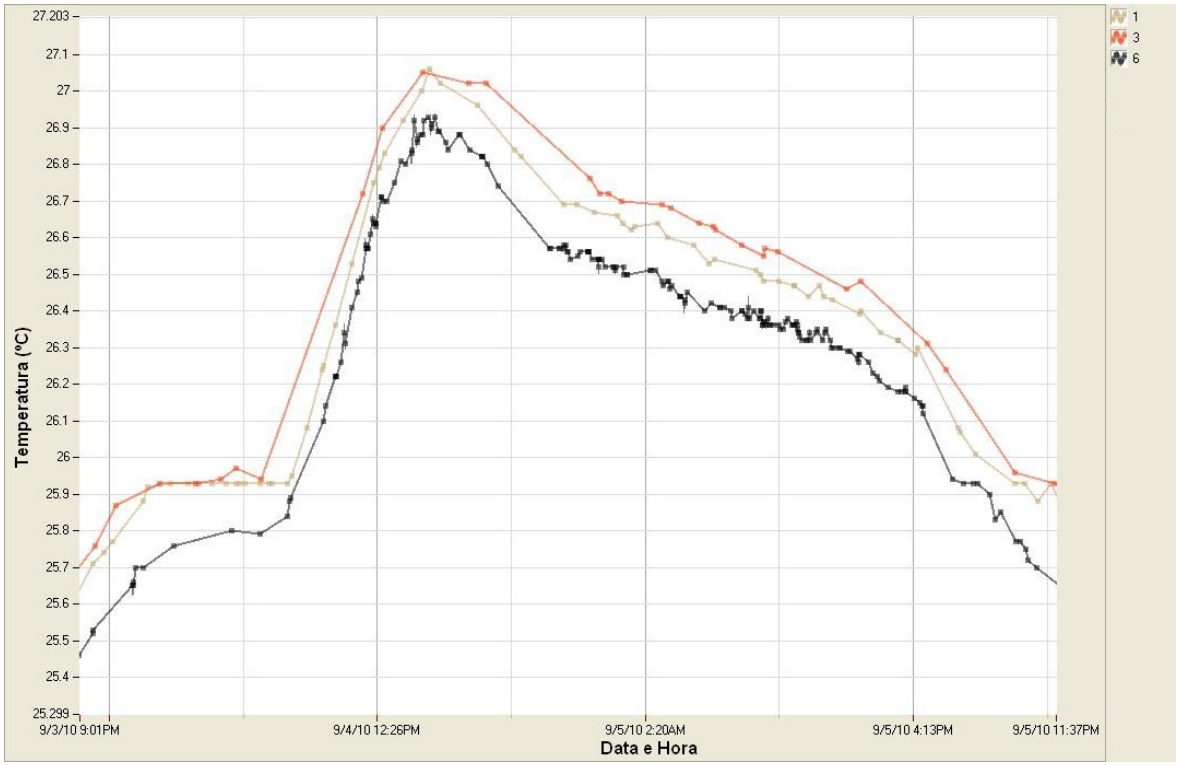


Figura 80 - Coleta de dados com amostragem variável.

6.7.2.2 Avaliação do número de pacotes de dados e *health packets* recebidos na estação base a partir de cada nó

Na Tabela 29 apresentam-se o número de pacotes de dados e de *health packets* recebidos na estação base a partir de cada nó que constituiu a rede, na Figura 81 é mostrado um gráfico que representa a porcentagem de pacotes de dados recebidos na estação base a partir de cada nó.

Tabela 29 - Número de pacotes de dados e *health packets* recebidos na estação base a partir de cada nó.

Id do nó	Nro. de pacotes recebidos na estação base		
	Pacotes de dados	Health packets	Total
1	98.594	409	99.003
2	34.093	338	34.431
3	17.671	373	18.044
4	94.041	395	94.436
6	32.540	360	32.900
8	16.096	404	16.500

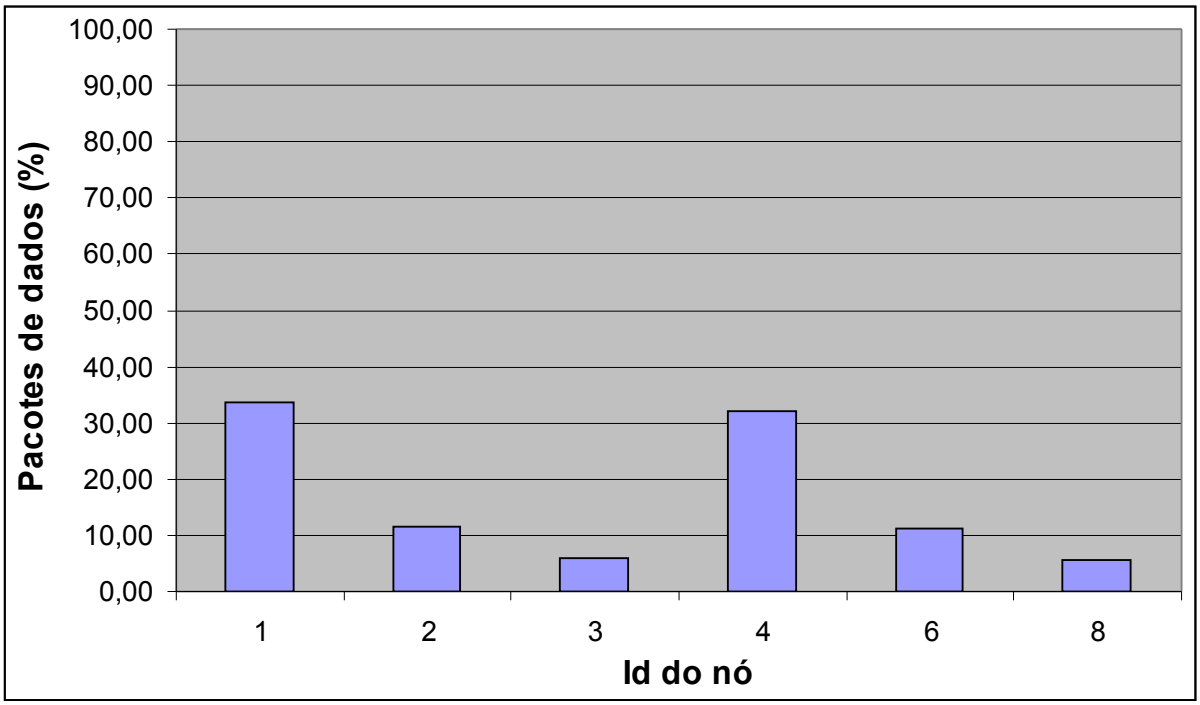


Figura 81 - Porcentagem de pacotes de dados recebidos na estação base a partir de cada nó.

A porcentagem de pacotes de dados recebidos na estação base, gerada por cada nó, apresentou a seguinte proporção: 66% do total de pacotes recebidos na estação base foi gerado pelos nós com intervalo de amostragem fixo (id 1 e 4), 22% foi gerado pelos nós com intervalo de amostragem variável com limiares entre 23 e 26 ºC (id 2 e 6) e 12% foi gerado pelos nós com intervalo de amostragem variável com limiares entre 22 e 28 ºC (id 3 e 8).

Pode-se observar uma porcentagem consideravelmente menor em relação aos pacotes recebidos na estação base para os nós com intervalo de amostragem variável, representando um menor volume de dados a ser armazenado no computador e uma economia no consumo de energia por serem enviados uma menor quantidade de pacotes de dados.

6.7.2.3 Avaliação da descarga realizada nas baterias utilizadas como fonte de alimentação dos nós

Considerando a voltagem inicial e final das baterias utilizadas, calculou-se a descarga produzida nelas durante o período de duração do experimento. Estimou-se também a quantidade de pacotes de dados e *health packets* recebidos na estação base a partir de cada nó, assim como o número de pacotes retransmitidos por cada

nó desde seus nós filhos. O tamanho de cada pacote, como definido em Xserve (2010), é de 32 bytes para o *health packet* e de 24 bytes para o pacote de dados utilizado[29]. Considerando-se o tamanho de cada pacote (dados e *health packets*), estimou-se a descarga realizada por byte para os diferentes nós que constituíram a rede. Os resultados experimentais são apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 - Número de pacotes de dados e *health packets* recebidos na estação base e retransmitidos a partir de cada nó que constitui a rede.

Id do nó	Voltagem Inicial (V)	Voltagem Final (V)	Descarga realizada (V)	Total de pacotes recebidos na estação base e retransmitidos a partir de cada nó		Nro de bytes recebidos na estação base e retransmitidos a partir de cada nó (bytes)			Descarga realizada x byte (µV)
				Pacotes de dados	*Health packets*	Pacotes de dados	*Health packets*	Total	
1	2,8017	2,5929	0,2088	119.541	613	2.868.984	19.616	2.888.600	0,0723
2	2,8017	2,5716	0,2301	63.441	537	1.522.584	17.184	1.539.768	0,1494
3	2,7954	2,5929	0,2025	73.698	743	1.768.752	23.776	1.792.528	0,1130
4	2,8334	2,6145	0,2189	135.308	686	3.247.392	21.952	3.269.344	0,0670
6	2,7892	2,5506	0,2386	83.230	717	1.997.520	22.944	2.020.464	0,1181
8	2,5610	2,3064	0,2546	50.971	669	1.223.304	21.408	1.244.712	0,2045

Do experimento esperava-se que os nós 1 e 4, por terem sido configurados com um intervalo de amostragem menor que os outros nós (2, 3, 6 e 8), deveriam ter uma descarga maior em suas baterias. Como pode-se ver na Tabela 30, esses nós obtiveram a menor descarga registrada por byte. Diferentes fatores podem ter influenciado nesse fenômeno, como: a quantidade de pacotes trocados por cada nó com os seus vizinhos em relação ao protocolo de roteamento, o tempo de uso das baterias ou a variabilidade existente entre elas. Para realizar uma estimativa aproximada do tempo de vida de cada nó, dependendo do tipo de bateria, desenvolveu-se um modelo, detalhado no próximo item.

6.7.2.4 Avaliação teórica do consumo de energia

Tomando como base as informações em relação ao consumo de corrente que utiliza um nó para sua operação (XMESH, 2010) e um modelo proporcionado pela MEMSIC para calcular o tempo de vida das baterias utilizadas para a operação dos nós (MPR, 2010), foi desenvolvido um modelo que considera o intervalo de

29 O tamanho do pacote de dados original é de 44 bytes (aplicativo XMTS400), porém, ao ser habilitado só o sensor Sensirion SHT11, o tamanho do pacote de dados é de 24 bytes (XMTS400 modificado).

amostragem e o tamanho do pacote de dados utilizado para estimar o tempo de vida dos nós, dependendo do tipo de bateria utilizado.

Na Tabela 31 é mostrado o consumo de corrente (mAh) por componente para o funcionamento de um nó, considerando-se um ciclo de trabalho de 1% como período ativo e 99% como período inativo (modo de operação LP).

Tabela 31 - Consumo de corrente (mAh) para o funcionamento de um nó com um ciclo de trabalho de 1% como período ativo e 99% como período inativo. Extraído de MPR (2010).

Componente do nó		Consumo de corrente (mAh)	Ciclo de Trabalho (%)	Total de consumo (mAh)
Processador				
	Ativo	8.0000	1	0.0800
	Inativo	0.0200	99	0.0198
Rádio				
	Recepção	19.7000	0.75	0.1478
	Transmissão	17.4000	0.25	0.0435
	Inativo	0.0010	99	0.0010
Memória de programa				
	Escrita	15.0000	0	0.0000
	Leitura	4.0000	0	0.0000
	Inativo	0.0020	100	0.0020
Placa sensora				
	Ativa	5.0000	1	0.0500
	Inativo	0.0050	99	0.0050
Cálculo de mAh usados				
	Processador			0.0998
	Rádio			0.1922
	Memória de programa			0.0020
	Placa sensora			0.0550
Total mAh usados para o funcionamento do nó				**0.3490**

Considerando que 0,3490 mAh sejam utilizados para o envio de um pacote de dados (44 bytes) e 3 *health packets* (96 bytes), o consumo para o envio de 1 byte/h será de 0,002493 mA. Na eq.(5) apresenta-se o modelo desenvolvido:

$$Total_mAh = 0{,}002493*[(\#DP)*(DP_T)+(\#HP)*(HP_T)] \quad (5)$$

onde:

Total_mAh = total de mA/h que serão consumidos para enviar um número determinado de pacotes de dados e *health packets*.

#DP = número de pacotes de dados enviados por hora.

DP_T = tamanho do pacote de dados (bytes), para o aplicativo original utilizado (XMTS400) o tamanho do pacote é de 44 bytes.

#HP = número de *health packets* enviados por hora. No modo LP, são enviados 3 *health packets*/h (configuração por *default*).

HP_T = tamanho do *health packets* em bytes (32 bytes).

Na Tabela 32 é apresentado o tempo de vida estimado, fazendo uso do modelo, para diferentes intervalos de amostragem (3, 5, 10, 15, 30 e 60 min). Foram considerados dois tipos de baterias (2.100 e 2.500 mAh) e dois tamanhos diferentes de pacotes de dados (44 bytes e 24 bytes). O tempo de vida estimado é apresentado em períodos de horas, dias e meses. Para este cálculo específico, considerou-se que os nós não realizassem roteamento de dados (topologia estrela).

Tabela 32 - Tempo de vida estimado para diferentes intervalos de amostragem, considerando dois tipos de baterias (2.100 e 2.500 mAh) e dois tamanhos de pacotes de dados (44 e 24 bytes).

Intervalo de amostragem	**Tempo de vida estimado**	**Tamanho do pacote de dados**			
		44 bytes		**24 bytes**	
		2.100 mAh	**2.500 mAh**	**2.100 mAh**	**2.500 mAh**
3 min	**horas**	863	1.028	1.463	1.741
	dias	36	43	61	73
	meses	1,2	1,4	2,0	2,4
5 min	**horas**	1.350	1.607	2.194	2.612
	dias	56	67	91	109
	meses	1,9	2,2	3,0	3,6
10 min	**horas**	2.340	2.786	3.510	4.179
	dias	98	116	146	174
	meses	3,3	3,9	4,9	5,8
15 min	**horas**	3.097	3.687	4.388	5.223
	dias	129	154	183	218
	meses	4,3	5,1	6,1	7,3

continua

continuação

Intervalo de amostragem	Tempo de vida estimado	Tamanho do pacote de dados			
		44 bytes		24 bytes	
		2.100 mAh	2.500 mAh	2.100 mAh	2.500 mAh
30 min	horas	4.578	5.451	5.850	6.965
	dias	191	227	244	290
	meses	6,4	7,6	8,1	9,7
60 min	horas	6.017	7.164	7.020	8.357
	dias	251	298	293	348
	meses	8,4	9,9	9,8	11,6

Nos experimentos realizados na sala do LAA como no parreiral, estimaram-se os seguintes tempos de vida:

- **experimento realizado na sala do LAA:** foi estimado um tempo de vida de 31 d para um intervalo de amostragem de 3 min, se os nós operassem em topologia estrela com baterias de 2.100 mAh;
- **experimento realizado no parreiral:** foi estimado um tempo de vida de 90 d para um intervalo de amostragem de 5 min, se os nós operassem em topologia estrela com baterias de 2.100 e 2.500 mAh.

Comparando os tempos de vida obtidos, utilizando o modelo teórico com o estimado a partir do experimento, observou-se proximidade entre eles para o intervalo de amostragem de 3 min (modelo – 36 d e experimento – 31 d). Essa diferença existente, pode ser justificada por diferentes fatores, como: o grau de envelhecimento das baterias, o nível de carga inicial que elas teriam, o fabricante, a variabilidade existente entre as baterias como também entre os nós, a temperatura ambiente na qual elas operaram, a quantidade de pacotes que foram trocados na rede, além dos pacotes de dados e *health packets*, dentre outros fatores.

Fazendo uso do modelo, pôde-se avaliar a proposta deste trabalho, comparando um nó com intervalo de amostragem fixo e outro com amostragem variável. Foram adotadas as considerações apresentadas na Tabela 33 em relação à forma como foram coletados os dados.

Tabela 33 - Considerações adotadas para avaliar o monitoramento de um ambiente utilizando um intervalo de amostragem variável.

Id do nó	Intervalo de amostragem	Considerações
1	5 min	Intervalo de amostragem fixo.
2	5 e 30 min	Intervalo de amostragem variável, quando a temperatura estiver entre 23 e 26 ºC, a coleta de dados é realizada cada 30 min, em outro caso, a coleta é realizada cada 5 min.

Considerou-se também, 24 bytes como tamanho do pacote de dados, que corresponde à modificação efetuada no aplicativo XMTS400 (coleta de temperatura ambiental e umidade relativa do ar) e baterias tipo 2.100 mAh. Apresentam-se, na Tabela 34, o tempo de vida estimado para ambas as configurações dos nós e a quantidade de mAh usados.

Tabela 34 - Tempo de vida estimado e quantidade de mAh usados para a operação dos nós.

Id do nó	Horas	Dias	Meses	mAh usados
Nó 1	2.194	91	3,0	0,9572
Nó 2	4.936	206	6,9	0,5085

Considerou-se para tais cálculos que o nó 2, configurado com intervalo de amostragem variável, realizou uma amostragem de dados com um intervalo de 30 min durante o 75% do seu período de vida, e nos demais 25% do tempo o nó foi reconfigurado para realizar uma coleta de dados com um intervalo de 5 min. Essa proporção foi adotada como exemplo, por ser percebida durante um experimento realizado na sala do LAA, correspondendo a um caso usual.

Nas Figuras 82, 83, 84, 85 e 86 apresentam-se diferentes gráficos para exemplificar a coleta de dados utilizando um intervalo de amostragem variável, considerando-se diferentes proporções entre o intervalo de amostragem menor e maior. Adotaram-se como intervalos de amostragem menores 3, 5, 10, 15 e 20 min, e como intervalo de amostragem maior 30 min, sendo considerados três tipos de baterias: recarregáveis de 2.100 e 2.500 mAh, e alcalinas não recarregáveis.

Dos gráficos pode-se perceber que, dois fatores influirão no tempo de vida dos nós (a definição do intervalo de amostragem menor e sua proporção com o intervalo de amostragem maior), essa proporção terá maior impacto no tempo de vida dos nós para os intervalos de 3, 5 e 10 min.

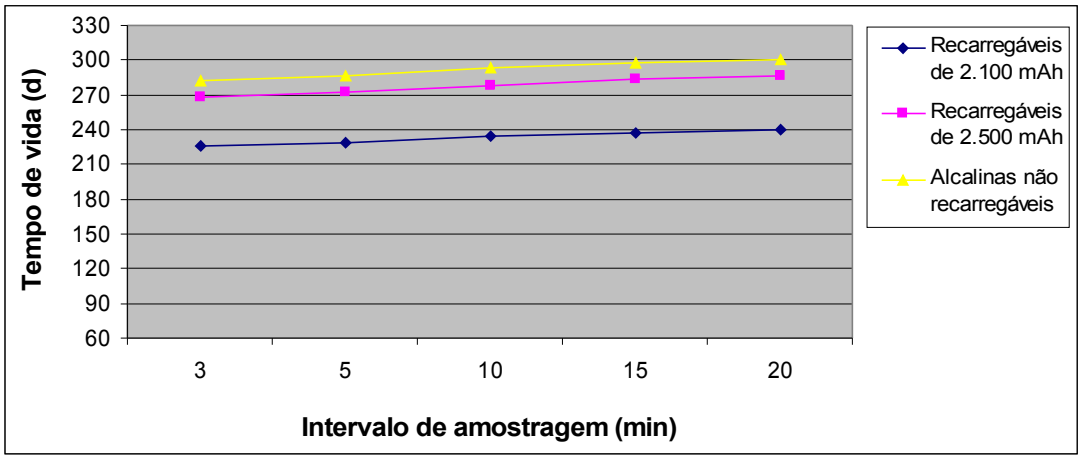


Figura 82 - Coleta de dados com intervalo de amostragem variável: 10% com intervalo de amostragem menor e 90% com intervalo de amostragem maior (30 min).

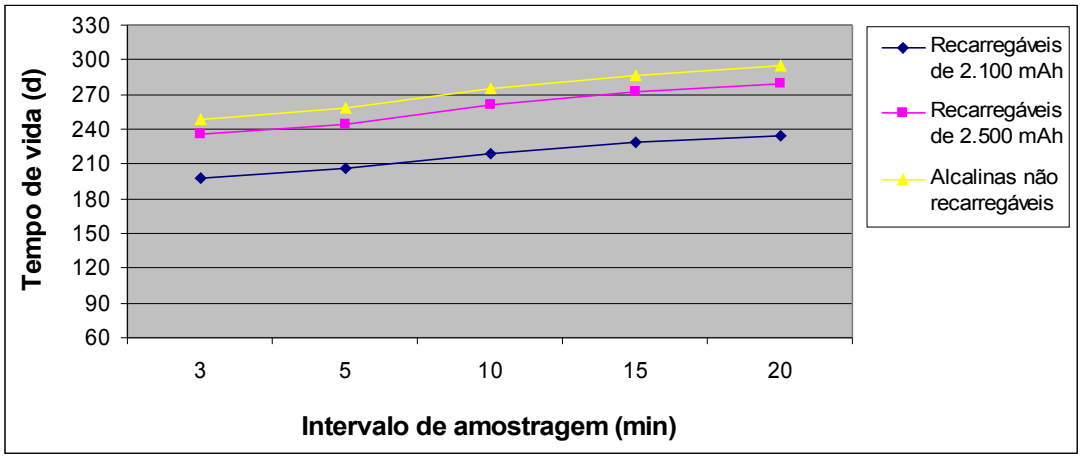


Figura 83 - Coleta de dados com intervalo de amostragem variável: 25% com intervalo de amostragem menor e 75% com intervalo de amostragem maior (30 min).

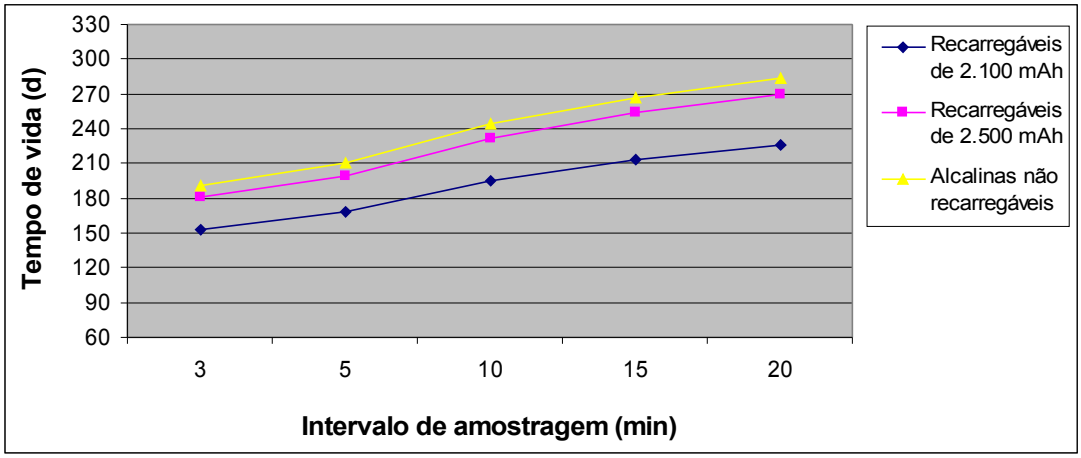


Figura 84 - Coleta de dados com intervalo de amostragem variável: 50% com intervalo de amostragem menor e 50% com intervalo de amostragem maior (30 min).

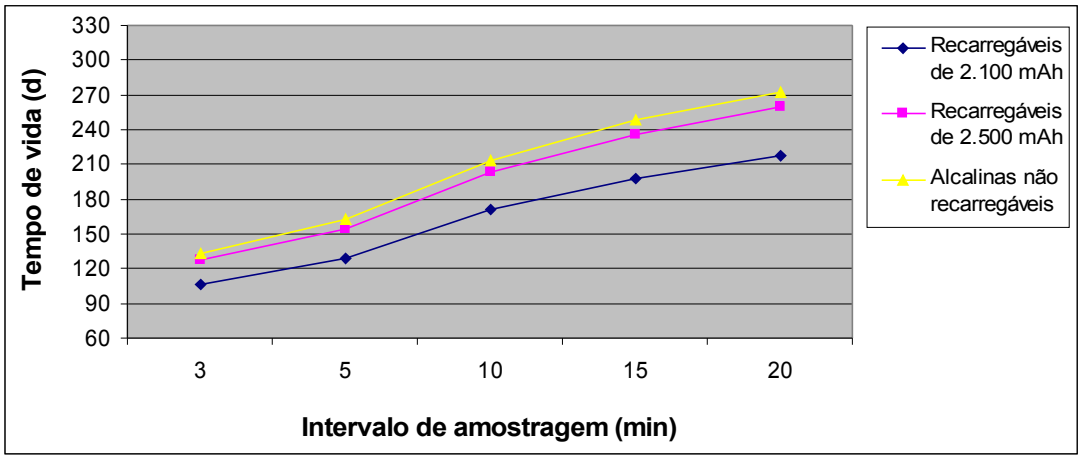


Figura 85 - Coleta de dados com intervalo de amostragem variável: 75% com intervalo de amostragem menor e 25% com intervalo de amostragem maior (30 min).

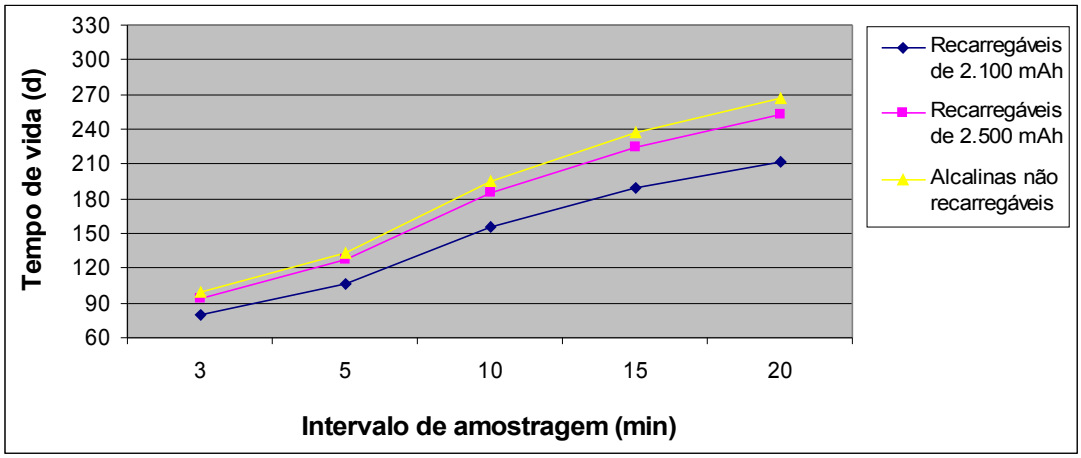


Figura 86 - Coleta de dados com intervalo de amostragem variável: 90% com intervalo de amostragem menor e 10% com intervalo de amostragem maior (30 min).

6.8 ESTUDO DE CASO

Como estudo de caso, considerou-se o monitoramento ambiental das diferentes fases da videira (queda das folhas, dormência, brotação – floração e maturação – colheita), correspondentes às estações do ano, como apresentado na Figura 87. Em cada fase, **período** representa a quantidade de dias que se realizará a coleta de dados utilizando-se o intervalo de amostragem definido como Δ**t** (o qual pode ser fixo o variável).

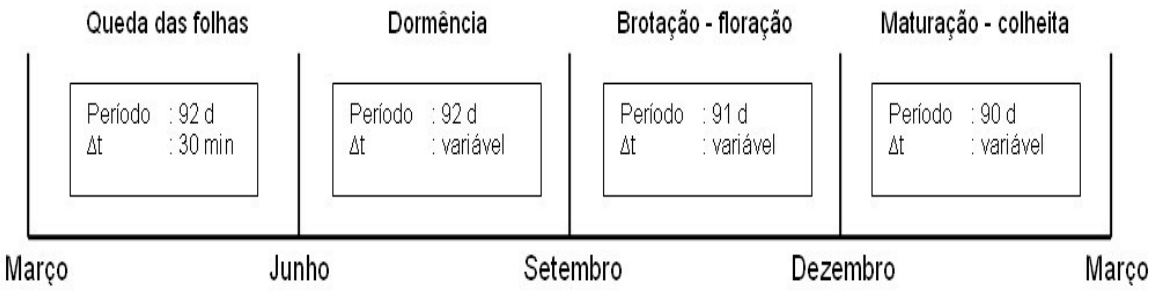


Figura 87 - Fases do ciclo produtivo das videiras e condições adotadas para realizar o monitoramento do ambiente.

As considerações adotadas para as estimativas realizadas foram: tamanho de pacote de dados de 24 bytes (para coleta de temperatura ambiental e umidade relativa do ar), topologia da rede em estrela, e potência de transmissão de 0 dBm. A partir de condições para coleta dos dados, definidas para as diferentes fases da videira, esperou-se obter a quantidade de mAh consumidos por um nó em cada fase, permitindo estimar o tempo em que deveria ser realizada a troca de suas baterias, para garantir uma coleta contínua de dados. As condições consideradas para a coleta dos dados foram as seguintes:

- durante a fase de queda das folhas, definiu-se realizar a coleta de dados com um intervalo de amostragem fixo (Δt = 30 min);
- durante as fases de dormência, brotação – floração e maturação colheita, definiu-se realizar uma coleta de dados com um intervalo de amostragem variável (Δt_{menor} = 10 min e Δt_{maior} = 30 min).

Na Tabela 35 é mostrado o consumo (mAh) para as diferentes fases da videira, considerando as condições definidas para a coleta dos dados. Para estimar o tempo de duração das baterias dos nós, consideraram-se baterias recarregáveis de 2.100 mAh. Da avaliação das diferentes proporções consideradas, observou-se que para as proporções 10% - 90%, 25% - 75% e 50% - 50% seria suficiente trocar as baterias duas vezes por ano. Já para as proporções 75% - 25% e 90% - 10% seria preciso repor as baterias três vezes por ano para garantir uma coleta contínua dos dados.

Tabela 35 - Consumo (mAh) para as diferentes fases da videira e período de reposição das baterias dos nós.

Proporção entre o Δtmenor e Δtmaior	Queda das folhas		Dormência		Brotação - floração		Maturação - colheita	
	Consumo (mAh)	Sobra (mAh)	Consumo (mAh)	Sobra (mAh)	Consumo (mAh)	Sobra (mAh)	Consumo (mAh)	Sobra (mAh)
10% - 90%	792,67	1307,33	845,51	461,82	836,32	1263,68	827,13	436,55
25% - 75%	792,67	1307,33	924,77	382,56	914,71	1185,29	904,66	280,62
50% - 50%	792,67	1307,33	1056,86	250,47	1045,37	1054,63	1033,88	20,74
75% - 25%	792,67	1307,33	1188,95	118,38	1176,03	923,97	1163,11	-239,14
90% - 10%	792,67	1307,33	1268,21	39,12	1254,42	845,58	1240,64	-395,06
	* troca de baterias				* troca de baterias		* troca de baterias para proporções de amostragem (75 – 25% e 90 – 10%)	

6.9 DISCUSSÕES

Nos diferentes trabalhos de pesquisa, apresentados no item 3.6.1, em relação à aplicação das RSSFs em vinhedos, observou-se que o monitoramento ambiental foi realizado utilizando um intervalo de amostragem fixo (considerado como suficiente, para monitoramento ambiental, se obter uma leitura de dados entre 5 e 30 min). Apresentou-se neste trabalho, uma forma alternativa de se realizar a coleta dos dados, utilizando um intervalo de amostragem variável, para se obter benefícios como uma menor quantidade de dados a serem armazenados, procurar uma economia no consumo de energia utilizada pelos nós e o monitoramento de um determinado fenômeno com uma resolução temporal variável, dependendo das condições a serem definidas pelo especialista.

Como uma forma de economizar energia para o uso das RSSFs em vinhedos, no trabalho de Galmes (2006) discute-se a coleta dos dados com um intervalo de amostragem aleatório, sendo utilizado o protocolo Aloha puro, sem retransmissões para encaminhar os dados até a estação base. Demostrou-se, por meio de simulações, a utilidade desta abordagem em um vinhedo, considerando-se que a rede poderia operar durante anos. O problema percebido nessa proposta é que não foi considerado o sincronismo que deve existir entre os nós, produzindo uma grande perda de pacotes, se fosse implementado em um ambiente agrícola real, além de o protocolo Aloha puro não considerar retransmissões. O protocolo XMesh no modo *Low Power* considera um tempo de sincronismo de +/- 1 ms, o que faz que a perda de pacotes seja menor.

Castillo et al. (2007) apresentam outra forma de coleta de dados baseada em regras, eles consideraram a coleta de dados utilizando dois tipos de regras, uma delas, do tipo diferencial e a outra, do tipo periódica. Diferentemente, considerou-se realizar o envio dos dados de temperatura quando o seu valor superasse em 2 ºC o valor enviado pela última vez; de igual forma foi considerada a regra para os valores de umidade relativa, que seriam enviados quando eles superassem em 2% ao último valor enviado. Periodicamente, considerou-se enviar os dados de temperatura e umidade relativa a cada 30 min. A finalidade de adotar essas regras foi estender o tempo de vida dos nós. Na camada de acesso ao meio foi utilizado o protocolo B-MAC[30], sendo considerado um ciclo de trabalho de 50% para os nós.

A partir do modelo proposto, para estimar o tempo de vida das baterias dos nós, pôde-se constatar que existe a possibilidade de monitorar uma cultura agrícola de ciclo curto com a RSSF experimental utilizada (plataforma MICAz com placa sensora MTS400), sem a necessidade de trocar baterias. O modelo proposto, assim como as informações apresentadas neste trabalho, podem ajudar a definir a melhor configuração da rede (topologia, tamanho do pacote de dados, intervalo de amostragem, potência de transmissão), considerando o tempo de vida que a rede deve ficar operando em campo.

O modelo pode ser refinado tanto com futuras avaliações práticas como também em ambientes de simulação. Ele pode ser considerado como um modelo inicial, baseado no tamanho dos pacotes enviados por cada nó (pacotes de dados e *health packets*), consumo por cada componente do nó (mAh), intervalo de amostragem, nós operando como dispositivos finais (topologia estrela) e tipo de bateria. Outras variáveis que poderiam ser consideradas no futuro compreendem a distância entre os nós da rede, o grau de envelhecimento das baterias, os pacotes trocados na rede e a temperatura ambiental na qual operam as baterias, variáveis que permitirão um maior grau de exatidão do modelo projetado.

---

30 *Berkeley Medium Access Control* (B-MAC) é um protocolo da camada de acesso ao meio. Ele permite reduzir o tempo em que o nó fica observando o meio sem receber transmissão alguma, considerando que cada nó deve acordar periodicamente para ver a atividade do canal de comunicação, permanecendo ativo somente quando detectar algum tipo de atividade (Polastre et al., 2004).

6.10 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO PRESENTE CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentada a proposta do trabalho, pensada como uma forma de economizar energia. Ela considera o monitoramento de um vinhedo/parreiral (temperatura ambiental e umidade relativa do ar) com um intervalo de amostragem variável. Descreveram-se o sistema de monitoramento e o protótipo de teste, desenvolvido para validar a proposta. Foram detalhadas também, as modificações realizadas no aplicativo para conseguir a reconfiguração automática do intervalo de amostragem e os experimentos associados para avaliar o tempo de vida dos nós, para ambos os modos de operação do protocolo XMesh (*High Power e Low Power*). Apresentaram-se, como uma forma de estimar o tempo de vida dos nós, um modelo desenvolvido para tal finalidade e as avaliações realizadas.

A proposta do trabalho e os resultados prévios foram apresentados, na forma de poster, no 10th ICPA (*International Conference on Precision Agriculture*), realizado em Denver – Colorado, USA em Julho de 2010 (BENAVENTE et al., 2010).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentam-se, neste último capítulo, as conclusões alcançadas a partir dos diferentes experimentos realizados e resultados apresentados em capítulos anteriores, bem como as contribuições dadas pelo desenvolvimento do trabalho, as dificuldades encontradas na sua realização, algumas perspectivas de continuidade e trabalhos futuros, e um encerramento final.

7.1 CONCLUSÕES

Dentre os objetivos do trabalho, procurou-se avaliar o desempenho de uma RSSF experimental, disponível no LAA, como uma ferramenta que auxilie no gerenciamento da variabilidade microclimática das condições ambientais em um vinhedo/parreiral (temperatura e umidade relativa do ar). Além disso, como uma forma de economizar energia e um armazenamento desnecessário de dados, foi proposta uma forma alternativa de coleta de dados, utilizando um intervalo de amostragem variável. Apresentam-se, neste item, as conclusões alcançadas em relação aos objetivos definidos no primeiro capítulo:

- observou-se a grande diferença em relação ao tempo de vida dos nós entre os dois modos de operação do protocolo XMesh: *High Power* (HP) e *Low Power* (LP). A forma de operação do modo HP, de deixar o nó em estado ativo o tempo todo, faz com que a duração das baterias seja menor que cinco dias (em média). Foi percebido, neste modo de operação, um tempo de vida de três a quatro dias, dependendo do tipo de bateria (sendo avaliadas as alcalinas não recarregáveis e as recarregáveis de 2.100 e 2.500 mAh). No modo de operação LP, o tempo de vida dos nós é estendido consideravelmente devido ao ciclo de trabalho com o qual trabalham os nós (sendo ele, aproximadamente, 1% como período ativo e 99% como período inativo), esse tempo de vida dos nós vai depender do intervalo de

amostragem considerado para realizar a coleta dos dados;

- no modo LP, tanto o intervalo de amostragem utilizado como o tamanho do pacote de dados a ser enviado influenciarão no tempo de vida dos nós. Outros fatores que terão repercussão nesse tempo de vida são o tipo de bateria utilizado e a funcionalidade do nó (dependendo se ele operar como dispositivo final ou roteador). Para estimar esse tempo de vida, foi desenvolvido um modelo considerando o consumo realizado pelos diferentes componentes do nó (nos seus estados ativo e inativo), definiram-se como variáveis o tamanho do pacote de dados a ser enviado, o intervalo de amostragem e o tipo de bateria utilizado. Uma consideração prévia foi que os nós operassem em uma topologia estrela (dispositivos finais), porém o modelo pode ser estendido para considerar diferentes cargas na rede (nós operando como roteadores);
- foram definidos dois parâmetros para avaliar a qualidade do enlace entre os nós e a estação base: o indicador de intensidade de sinal recebida (RSSI) e de qualidade de enlace (LQI), os quais vêm sendo implementados nos rádios baseados no padrão IEEE 802.15.4 (como é o caso do CC2420, componente da plataforma MICAz). A partir da avaliação prática realizada no parreiral, observou-se a correlação entre esses dois parâmetros: valores do LQI (nível alto) e do RSSI (quando eles são menores que -87 dBm), encontrando-se na literatura uma perda de pacotes menor que 85%. Para determinar a altura na qual devem ser posicionados os nós, deve-se considerar a distância entre eles, sendo que a zona de Fresnel deverá permanecer livre de objetos que possam atenuar o sinal;
- em relação à avaliação do alcance obtido no parreiral entre os nós e a estação base, como já observado em trabalhos experimentais realizados anteriormente (milharal, cafezal), existe uma considerável diminuição do alcance do sinal quando o nó fica mais próximo da parte vegetativa, devido à água contida nela. As avaliações realizadas no tronco, cacho e dossel das videiras por meio das duas formas consideradas (XMTS400 instalado nos nós e XMeshBase instalado na estação base, e Pong instalado tanto na estação base como nos nós), sendo que o alcance máximo registrado foi a distância até a qual foi conseguida comunicação entre os dispositivos da rede (nó e estação base). Foi percebida diferença entre ambas as formas

consideradas para avaliar o alcance, porém com certa proximidade entre elas;

- da avaliação do desempenho da RSSF em diferentes alturas nas plantas de videira (cacho e dossel), observou-se uma menor perda de pacotes e uma melhor qualidade de transmissão e recepção do enlace de comunicação na altura do cacho das videiras. Comparando-se os dados de temperatura ambiental e umidade relativa do ar, observou-se que não existe uma grande diferença entre os dados coletados nas duas diferentes alturas avaliadas. Isso indica que um ganho no desempenho da rede existirá se os nós forem posicionados na altura do cacho das videiras. Como forma alternativa de configurar a rede, poder-se-ia considerar nós coletores de dados na estrutura vegetativa (cacho ou dossel) e nós roteadores posicionados no tronco, permitindo um maior alcance em relação à estação base;
- da avaliação da placa sensora MTS400, observou-se que o sensor Taos TSL2550 não tem a capacidade de detecção de luminosidade suficiente para ser utilizado em aplicações agrícolas. Em relação aos outros sensores, foi percebida uma maior exatidão do sensor Sensirion SHT11 em comparação com o sensor Intersema MS5534AM (para coleta de dados de temperatura ambiental), isto permitiu modificar o aplicativo XMTS400, passando a utilizar um pacote de dados de tamanho menor (24 bytes);
- utilizando o intervalo de amostragem variável como uma forma alternativa para coletar dados, percebeu-se um menor envio de pacotes por parte dos nós. A avaliação da descarga das baterias não foi tão precisa para demonstrar que os nós que utilizaram um intervalo de amostragem variável economizaram energia. Diversos fatores influíram nesse comportamento, como o grau de envelhecimento das baterias, a troca de mensagens para atualização das rotas (protocolo XMesh), sendo que alguns nós encaminharam mais dados do que os outros. Utilizando o modelo teórico desenvolvido para estimar o tempo de vida dos nós, observou-se que ele pode ser estendido, definindo-se uma proporção adequada entre os períodos que o nó realiza a coleta dos dados com um intervalo de amostragem maior e menor;
- da comparação da exatidão entre os dados coletados pela placa sensora MTS400 e um instrumento de referência de maior precisão (temperatura

ambiental e umidade relativa do ar), observou-se que os dados de temperatura em média resultaram ser 0,19 ºC menores que os coletados pelo instrumento de referência (HOBO Pro v2), com um desvio padrão de 0,17 ºC. Para os dados de umidade relativa, em média, resultaram ser 0,74% maiores que os coletados pelo instrumento de referência (HOBO Pro v2), com um desvio padrão de 1,26%. Considerando essa variabilidade entre as placas sensoras, observou-se a variabilidade microclimática, espacialmente, no parreiral, a qual é maior durante o dia do que durante a noite. A avaliação de exatidão realizada permite ver que a precisão dos dados coletados pelos nós da rede (temperatura e umidade relativa do ar) é adequada e esta tecnologia pode ser utilizada para a coleta de tais dados;

- como observado nos experimentos realizados para avaliar a variabilidade microclimática no parreiral, a RSSF é uma boa alternativa para o gerenciamento dessa variabilidade. A partir do tempo de vida estimado, gerado utilizando o modelo proposto, observou-se que para um intervalo de amostragem de 15 min seria possível o monitoramento do período vegetativo/produtivo das videiras. Recomenda-se o uso desta tecnologia aos viticultores pelas diferentes vantagens observadas, sendo o número de nós sensores utilizados dependente do número de parcelas a serem consideradas no vinhedo/parreiral.

7.2 CONTRIBUIÇÕES

Dentre as contribuições que fazem parte deste trabalho, consideram-se como as mais relevantes:

- o modelo que possibilita estimar o tempo de vida dos nós, utilizando o protocolo XMesh no modo de operação LP. Este modelo permite obter uma ideia do tempo de duração das baterias, a partir de variáveis como o intervalo de amostragem, o tipo de bateria e tamanho do pacote de dados. Demonstrou-se que é possível o monitoramento de culturas de ciclo curto sem reposição de baterias. Para o caso do vinhedo/parreiral, foi observado

que é possível realizar uma coleta dos dados durante um ano, realizando uma reposição das baterias até duas vezes por ano;

- o trabalho constitui-se em uma iniciativa para o gerenciamento da variabilidade microclimática por meio do uso das RSSFs. Em palestras apresentadas no CONBAP 2010, percebeu-se a carência de trabalhos nessa área, existindo a necessidade de incorporação de novas tecnologias na agricultura brasileira, que permitam um gerenciamento da variabilidade microclimática e, por consequência, auxiliando diretamente nas tomadas de decisões em procedimentos de manejo agrícola (por exemplo: frequência de irrigação, necessidade de tratamentos fitossanitários, evolução da maturação, estimativas de qualidade e quantidade de produção etc.), prevendo-se um crescimento desta área na agricultura brasileira para os próximos anos;
- a proposta do trabalho, de utilizar um intervalo de amostragem variável para realizar a coleta de dados ambientais, foi focada para ser aplicada em vinhedos/parreirais, existindo a possibilidade de ser estendida para outros domínios, tais como: monitoramento de condições ambientais internas de colônias de abelhas, casas de vegetação, monitoramento de animais, dentre outros, definindo-se regras adequadas que permitam que o nó nos intervalos definidos como “condições normais”, realize uma coleta de dados com intervalos de amostragem maiores, reconfigurando-se quando os mesmos estiverem fora desses limiares, e passando a realizar uma coleta de dados com maior continuidade;
- a avaliação da RSSF experimental, disponível no LAA, abre um leque de possibilidades não só pelo relacionamento conseguido com a Embrapa Uva e Vinho, também na parte de melhorar o desempenho da RSSF, que serão comentados com maior detalhe no item 7.4.

7.3 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Dentre as dificuldades encontradas, consideraram-se as seguintes:

- a impossibilidade de retornar a Bento Gonçalves para realizar novos experimentos que complementem os resultados conseguidos após a análise dos dados, obtidos na primeira avaliação. No entanto, considerou-se que os resultados alcançados permitiram uma avaliação adequada da RSSF como uma ferramenta de monitoramento microclimático em um vinhedo/parreiral, sendo demonstrado o seu potencial de aplicação na viticultura;
- a RSSF experimental, projetada para fins de pesquisa, tem suas limitações quando utilizada para o monitoramento contínuo de um ambiente (como os cuidados que se devem ter para não danificar as placas sensoras). O campo experimental, como já comentado em capítulos anteriores, foi um parreiral cultivado sob cobertura plástica, possibilitando deixar a rede instalada em campo. Além disso, por precaução, para evitar algum dano aos nós (alguma gota de água cair nas placas sensoras, por exemplo) foi utilizado um plástico para proteger os nós, como um guarda-chuvas, tentando não interferir na qualidade dos dados coletados pelos sensores. Na análise, observou-se que este fato modificou o comportamento dos valores das variáveis coletadas (temperatura e umidade relativa), o que não possibilitou a comparação com os termopares que vem sendo utilizados pela Embrapa Uva e Vinho nos seus projetos de pesquisa.

7.4 PERSPECTIVAS E TRABALHOS FUTUROS

Consideram-se diferentes caminhos de continuidade, tanto para aprimorar o desempenho da rede, como para obter informações precisas a partir dos dados coletados pela RSSF, as diferentes perspectivas de continuidade são detalhadas a seguir:

- o ciclo produtivo da videira é largo (sete meses, aproximadamente, desde a brotação até a colheita), como o prazo para realizar o mestrado é curto, considerou-se um período de um mês para realizar a experimentação no campo. No futuro, espera-se um período maior para avaliar a RSSF em campo, levando em conta as dificuldades encontradas nesta primeira

avaliação e as experiências obtidas na realização do trabalho. O monitoramento microclimático das variáveis ambientais durante uma das fases das videiras ou inclusive durante um ciclo produtivo será de grande interesse;

- o modelo proposto para estimar o tempo de vida foi baseado, principalmente, no consumo por componente do nó, considerando um ciclo de trabalho de 1% de período ativo e 99% de período inativo. Outras variáveis consideradas foram o tamanho do pacote de dados, o tipo de bateria e o intervalo de amostragem. Percebeu-se certa proximidade entre os dados experimentais e o estimado pelo modelo. A incorporação de outras variáveis pode permitir um maior refinamento do modelo, como por exemplo, o grau de envelhecimento das baterias, a quantidade de pacotes a serem encaminhados pelo nó, a temperatura ambiental na qual opera o nó, entre outras;
- como foi observado no projeto que vem sendo desenvolvido na Embrapa Uva e Vinho, existem diferentes variáveis que são de interesse no vinhedo, que compreendem o monitoramento de variáveis no solo, na planta e na atmosfera, possibilitando um acompanhamento e melhor entendimento do desenvolvimento fenológico e produtivo das videiras. Por tanto, a incorporação de novos sensores pode ser considerada e isto pode ser facilmente realizado pela facilidade que a plataforma apresenta para a incorporação de novos sensores, por meio da placa MDA300;
- para uma ágil tomada decisões, pode-se considerar a utilização de técnicas de inferência de dados, que permitam auxiliar nas tomadas de decisões técnicas por parte do viticultor. Neste sentido, será de grande interesse um sistema que a partir das condições de temperatura e umidade relativa do ar, possa se antecipar a um acontecimento, como por exemplo, o ataque de uma doença fúngica, de forma que o viticultor consiga saber o momento oportuno para aplicar um defensivo agrícola (fungicida);
- aumentando o pré-processamento de dados no nó sensor, será possível economizar energia e armazenamento desnecessário de dados. Assim, pode-se pensar em uma forma de coleta de dados que envie somente a variação das variáveis monitoradas. Por exemplo, para a temperatura são utilizados 14 bits (sendo utilizado um campo de 2 bytes); considerando

enviar a variação da temperatura com relação ao último valor enviado, seria necessário um menor número de bits (1 byte), raciocínio que pode ser estendido para outras variáveis a serem monitoradas (umidade relativa, luminosidade);

- utilizando técnicas adaptativas, pode-se modelar um sistema de monitoramento ambiental para as diferentes fases do ciclo produtivo do vinhedo. Neste trabalho, considerou-se a implementação de regras segundo as diferentes etapas, em aplicativos independentes, os quais, por meio da programação remota, poderiam modificar o comportamento do nó. A opção de modelar um sistema de monitoramento utilizando autômatos adaptativos poderia ser considerado para solucionar esse problema, pensando que o funcionamento da rede deve ser simples, sem exigir muitas configurações para não dificultar o seu uso por um usuário leigo.

7.5 ENCERRAMENTO

O trabalho permitiu o melhor conhecimento das RSSFs, a sua avaliação em um ambiente agrícola e uma proposta de coleta de dados que vise otimizar o desempenho da RSSF. Pelo percebido nos diferentes congressos, nos quais o autor apresentou trabalhos (SBIAGRO 2009[31], CLIA/CONBEA 2010 e CONBAP 2010), esta é uma tecnologia nova, ainda não muito conhecida no meio agrícola, porém com alto potencial de aplicabilidade para solucionar problemas ainda considerados em aberto na Agricultura de Precisão.

31 7º Congresso Brasileiro de Agroinformática – SBIAGRO 2009. Site: http://www.sbiagro2009.ufv.br/

REFERÊNCIAS

AKYILDIZ, I. F. et al. Wireless sensor networks: a survey. **Computer Networks**, EUA, v. 38, n. 4, p. 393-422, 2002.

ANASTASI, G. et al. Energy conservation in wireless sensor networks: A survey. **Ad Hoc Networks**, EUA, v. 7, n. 3, p. 537-568, 2009a.

ANASTASI, G. et al. Monitoring High-Quality Wine Production using Wireless Sensor Networks. In: 42ND HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES (HICSS '09), 42., 2009b, Havaí, EUA. **Proceedings...** [EUA]: IEEE, 2009b. p. 1-7.

ANASTASI, G., et al. Performance Measurements of Motes Sensor Networks. In: 7TH ACM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MODELING, ANALYSIS AND SIMULATION OF WIRELESS AND MOBILE SYSTEMS (MSWiM'04), 7., 2004, Veneza, Itália. **Proceedings...** [S.l.]: ACM, 2004. p. 174-181.

BAGGIO, A. Wireless Sensor Networks in Precision Agriculture. In: WORKSHOP ON REAL-WORLD WIRELESS SENSOR NETWORKS (REALWSN'05), 2005, Estocolmo, Suécia. **Proceedings...** [S.l.]: ACM, 2005. 2 p.

BARROS, M. F.; CUGNASCA, C. E. An inter-connection model between standard ZigBee and ISOBUS network (ISO11783). In: 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE (ICPA), 10., 2010, Denver, EUA. **Proceedins...** EUA: International Society of Precision Agriculture, 2010. p. 1-9. 1 CD-ROM.

BARROS, M. F.; CUGNASCA, C. E. Considerações sobre a interconexão de redes de comunicação na agricultura. In: 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 7., 2009, Viçosa, Brasil. **Anais...** Brasil: Associação Brasileira de Agroinformática, 2009. p. 1-5. 1 CD-ROM.

BECKWITH, R.; TEIBEL, D.; BOWEN, P. Report from the field: results from an agricultural wireless sensor network. In: 29TH ANNUAL IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON LOCAL COMPUTER NETWORKS, 29., 2004a, Tampa, EUA. **Proceedings...** EUA: IEEE, 2004a. p. 471-478.

BECKWITH, R.; TEIBEL, D.; BOWEN, P. Unwired wine: sensor networks in vineyards. In: IEEE SENSORS 2004, 3., 2004b, Viena, Austria. **Proceedings...** [S.l.]: IEEE, 2004b. v. 2, p. 561-564.

BENAVENTE, J. C. C. et al. Uma aplicação de rede de sensores sem fio para monitoramento ambiental em uma cultura de milho. In: 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 7., 2009a, Viçosa, Brasil. **Anais...** Brasil: Associação Brasileira de Agroinformática, 2009a. 5 p. 1 CD-ROM.

BENAVENTE, J. C. C. et al. Uma proposta de arquitetura para monitoramento remoto de vinhedos em tempo real. In: 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 7., 2009b, Viçosa, Brasil. **Anais...** Brasil: Associação Brasileira de Agroinformática, 2009b. 5 p. 1 CD-ROM.

BENAVENTE, J. C. C.; CUGNASCA, C. E.; SANTOS, H. P. Redes de sensores sem fio para monitoramento microclimático em vinhedos cultivados sob cobertura plástica. In: IX CONGRESSO LATINOAMERICANO E DO CARIBE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - XXXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 9., 2010a, Vitória, Brasil. **Anais...** Brasil: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2010a. 4 p. 1 CD-ROM.

BENAVENTE, J. C. C.; CUGNASCA, C. E.; SANTOS, H. P. Um estudo da variabilidade microclimática em um vinhedo cultivado sob cobertura plástica mediante o uso de uma rede de sensores sem fio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO (CONBAP 2010), 4., 2010b, Ribeirão Preto, Brasil. **Anais...** Brasil: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2010b. 4 p. 1 CD-ROM.

BENAVENTE, J. C. C. et al. Changes of data sampling procedure to avoid energy and data losses during microclimates monitoring with wireless sensor networks. In: 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE (ICPA 2010), 10., 2010, Denver, EUA. **Proceedings...** EUA: International Society of Precision Agriculture, 2010. 10 p. 1 CD-ROM.

BORGHETTI, O. Plasticultura cria cenário de segurança e qualidade. **Correio Riograndense**, Caxias do Sul, 23 dez. 2009. Viticultura, p. 10-11.

BURRELL, J.; BROOKE, T.; BECKWITH, R. Vineyard computing: sensor networks in agricultural production. **Pervasive Computing, IEEE**. EUA, v. 3, n. 1, p. 38-45, 2004.

CAMILLI, A. et al. From wireless sensors to field mapping: Anatomy of an application for precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, EUA, v. 58, n. 1, p. 25-36, 2007.

CAO, Q. et al. Efficiency centric communication model for wireless sensor networks. In: 25TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER COMMUNICATIONS (INFOCOM 2006), 25., 2006, Barcelona, Espanha. **Proceedings...** [S.l.]: IEEE, 2006. p. 1-12.

CARDOSO, L. S. et al. Alterações micrometeorológicas em vinhedos pelo uso de coberturas de plástico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasil, v. 43, n. 4, p. 441-447, 2008.

CASTILLO, J. C.; OLIVARES, T.; OROZCO-BARBOSA, L. Implementation of a rule-based routing protocol for wireless sensor networks. In: 2ND ACM WORKSHOP ON PERFORMANCE MONITORING AND MEASUREMENT OF HETEROGENEOUS WIRELESS AND WIRED NETWORKS (PM2HW2N'07), 2., 2007, Chania, Grécia. **Proceedings...** [S.l.]: ACM, 2007. p. 19-25.

CC2420. EUA. 2.4 GHz IEEE 802.15.4/ZigBee-ready RF Transceiver. Disponível em: <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc2420.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2010.

CHAVARRIA, G. et al. Microclima de vinhedos sob cultivo protegido. **Ciência Rural**, Brasil, v. 39, n. 7, p. 2029-2034, 2009.
CHAVARRIA, G.; SANTOS, H. P. Manejo de videiras sob cultivo protegido. **Ciência Rural**, Brasil, v. 39, n. 6, p. 1917-1924, 2009.

CHINRUNGRUENG, J.; SUNANTACHAIKUL, U.; TRIAMLUMLERD, S. Smart Parking: An Application of Optical Wireless Sensor Network. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON APPLICATIONS AND THE INTERNET WORKSHOPS (SAINTW'07), 2007, Hiroshima, Japão. **Proceedings...** [S.l.]: IEEE, 2007. p. 66-66.

COMIRAN, F. **Microclima, desenvolvimento e produção de videiras 'Niágara Rosada' em cultivo orgânico sob cobertura plástica**. 2009. 83 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

COSTA, R. A. G.; CUGNASCA, C. E. Use of data warehouse to manage data from wireless sensors networks that monitor pollinators. In: ELEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE DATA MANAGEMENT, 11., 2010, Kansas, EUA. **Proceedings...** USA: IEEE, 2010. p. 402-406.

CULLER D.; ESTRIN D.; SRIVASTAVA M. Overview of Sensor Networks. **IEEE Computer Magazine**, EUA, v. 37, n. 8, p. 41-49, 2004.

CYGWIN. EUA. Cygwin Information and Installation. Disponível em: <http://www.cygwin.com/>. Acesso em: 07 out. 2010.

FOOTPRINT. Austrália. Light and Lux basics. Disponível em: <http://www.footprintsecurity.com.au/info_light_and_lux_basics.php>. Acesso em: 08 out. 2010.

GALMES, S. Lifetime Issues in Wireless Sensor Networks for Vineyard Monitoring. In: 3RD IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE ADHOC AND SENSOR SYSTEMS (MASS 2006), 3., 2006, Vancouver, Canadá. **Proceedings...** [S.l.]: IEEE, 2006. p. 542-545.

GIACOMIN, J. C.; VASCONCELOS F. H. Qualidade da Medição de Intensidade de Sinal nas Comunicações de uma Rede de Sensores Sem Fios: uma Abordagem da Camada Física. **Infocomp (UFLA)**, Brasil, v. 5, n. 2, p. 83-92, 2006.

GONDA, L.; CUGNASCA, C. E. A Proposal of Greenhose Control Using Wireless Sensor Networks. In: 4TH WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES, 4., 2006, Orlando, EUA. **Proceedings...** EUA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006. p. 229-233.

GOODFOOD. Espanha. The GoodFood 2nd Newsletter, 2006. Disponível em: <http://www.goodfood-project.org/www/Newsletter/newsletter2.pdf>. Acesso em: 06 out. 2010.

GOOGLE EARTH. EUA. Site do software Google Earth. Disponível em: <http://www.google.com/earth/index.html>. Acesso em: 06 out. 2010.

GRAPE NETWORKS. EUA. Site da Grape Networks Inc. Disponível em: <http://www.grapenetworks.com>. Acesso em: 23 ago. 2010.

GROSSMANN, R. et al. Localization in Zigbee-based Sensor Networks. In: 1ST EUROPEAN ZIGBEE DEVELOPER´S CONFERENCE (EUZDC), 1., 2007, Munique, Alemanha. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2007. 8 p.

HAYES, J. et al. Evaluation of a low cost wireless chemical sensor network for environmental monitoring. In: IEEE SENSORS 2008, 7., 2008, Lecce, Itália. **Proceedings...** [S.l.]: IEEE, 2008. p. 530-533.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2010. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/default.asp?t=5&z=t&o=1&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1&u7=1&u8=1&u9=1&u10=1&u11=1&u12=3&u13=1&u14=26674&u15=1&u16=1>. Acesso em: 25 ago. 2010.

IEEE 802.15.4. EUA. IEEE 802.15 WPAN™ Task Group 4 (TG4). Disponível em: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>. Acesso em: 26 set. 2010.

KIM, S. et al. Health monitoring of civil infrastructures using wireless sensor networks. In: 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION PROCESSING IN SENSOR NETWORKS, 6., 2007, Cambridge, EUA. **Proceedings...** [S.l.]: ACM, 2007. p. 254-263.

KINNEY, P. ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works. ZigBee Alliance White Paper, 2003. Disponível em: <http://www.zigbee.org/LearnMore/WhitePapers.aspx>. Acesso em: 06 out. 2010.

LANGENDOEN, K.; BAGGIO, A.; VISSER, O. Murphy loves potatoes: experiences from a pilot sensor network deployment in precision agriculture. In: 20TH INTERNATIONAL PARALLEL AND DISTRIBUTED PROCESSING SYMPOSIUM (IPDPS 2006), 20., 2006, Ilha de Rodes, Grécia. **Proceedings...** [S.l.]: IEEE, 2006. 8 p.

MANES, G. Itália. Vinesense: The next challenge in precision vineyard monitoring. Disponível em: <http://www.ambbudapest.esteri.it/NR/rdonlyres/AA5B70C2-6801-4F24-A4AB-ADFB50BFC14B/0/Manes.pdf>. Acesso em: 06 out. 2010.

MANICA, I.; POMMER, C. V. **UVA: do plantio a produção, pós-colheita e mercado**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2006. 185 p.

MANICKAM, K. Development of a Wireless Sensor Network Application using Maté. 2005. 60 p. Trabalho de conclusão de curso – Universidade de Western, Austrália, 2005.

MARINO, P. et al. Application-Oriented Distributed Sensor Network. In: THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS (ICONS 2008), 3., 2008, Cancun, México. **Proceedings...** [S.l.]: IEEE, 2008. p. 290-295.

MARTA, A. D.; MARTINELLI, L.; ORLANDINI, S. Leaf Wetness Spatial Variability within Grapevine Canopy. **American Journal of Enology and Viticulture**, EUA, v. 59, n. 1, p. 78-82, 2008.

MEMSIC. EUA. Site da MEMSIC. Disponível em: <http://www.memsic.com/>. Acesso em: 23 ago. 2010.

MICRODAQ. EUA. HOBO Pro V2 Family of Data Loggers. Disponível em: <http://www.microdaq.com/occ/u23/index.php>. Acesso em: 07 out. 2010.

MIELE, A. et al. Viticultura de precisão: uma ferramenta tecnológica para melhorar a qualidade e a competitividade do vinho brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO (CONBAP 2010), 4., 2010, Ribeirão Preto, Brasil. **Anais...** Brasil: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2010. 3 p. 1 CD-ROM.

MOLIN, J.P. Agricultura de precisão. Parte 1: O que é e estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, Brasil, v. 17, n. 2, p. 97-107, 1997.

MORAIS, R. et al. ZigBee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture. **Computers and Electronics in Agriculture**. EUA, v. 62, n. 2, p. 94-106, 2008.

MOTEVIEW. EUA. Moteview Users Manual. Disponível em: <http://www.memsic.com/support/documentation/wireless-sensor-networks/category/6-user-manuals.html>. Acesso em: 07 out. 2010.

MOTEWORKS. EUA. MoteWorks Getting Started Guide. Disponível em: <http://www.memsic.com/support/documentation/inertial-systems/category/1-user-manuals.html>. Acesso em: 07 out. 2010.

MPR. EUA. MPR-MIB Wireless Module User's Manual. Disponível em: <http://www.memsic.com/support/documentation/wireless-sensor-networks/category/6-user-manuals.html>. Acesso em: 13 out. 2010.

MTS400. EUA. MTS/MDA Sensor Board User's Manual. Disponível em: <http://www.memsic.com/support/documentation/wireless-sensor-networks/category/6-user-manuals.html>. Acesso em: 10 out. 2010.

NAJM, L. H. et al. Arquitetura de sistemas para aquisição de dados com redes de sensores para realização de experimentos com weblabs. In: 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 7., 2009, Viçosa, Brasil. **Anais...** Brasil: Associação Brasileira de Agroinformática, 2009. p. 1-5. 1 CD-ROM.

NACHTIGAL, J. C.; MAZZAROLO, A. **UVA: O produtor pergunta, a Embrapa responde. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas)**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 202 p.

NESC. EUA. NesC: A Programming Language for Deeply Networked Systems. Disponível em: <http://nescc.sourceforge.net>. Acesso em: 06 out. 2010.

NETSENS. Itália. Site da Netsens s.r.l. Disponível em: <http://www.netsens.it/en/environment.php>. Acesso em: 23 ago. 2010.

PHP. EUA. PHP: Hypertext Preprocessor. Disponível em: <http://www.php.net/>. Acesso em: 13 out. 2010.

POLASTRE, J.; HILL, J.; CULLER, D. Versatile low power media access for wireless sensor networks. In: 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMBEDDED NETWORKED SENSOR SYSTEMS, 2., 2004, Baltimore, EUA. **Proceedings...** EUA: ACM, 2004. p. 95-107.

PONG. EUA. Pong. Disponível em: <http://www.tinyos.net/tinyos-1.x/apps/Pong/>. Acesso em: 10 out. 2010.

PORTER, J. et al. Wireless Sensor Networks for Ecology. **BioScience**, EUA, v. 55, n. 7, p. 561-572, 2005.

POSTGRESQL. EUA. Site da PostgreSQL. Disponível em: <http://www.postgresql.org/>. Acesso em: 10 out. 2010.

PROTAS, J. F. S. Uvas Viníferas para Processamento em Regiões de Clima Temperado. Sistema de Produção, 4. Brasil: 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/UvasViniferasRegioesClimaTemperado/index.htm>. Acesso em: 23 ago. 2010.

ROCA, I. **Rede de Sensores sem Fio em ambientes veiculares baseada no padrão ZigBee.** 2008. 130 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

ROUNDY, S. et al. Power Sources for Wireless Sensor Networks. In: WIRELESS SENSOR NETWORKS: FIRST EUROPEAN WORKSHOP (EWSN 2004), 1., 2004, Berlim, Alemanha. **Proceedings...** Alemanha: Springer, 2004. p. 1-17.

SANTOS, H. P. **Viticultura** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: <jcongonab@gmail.com> em 06 out. 2010a.

SANTOS, H. P. **Cultivos Protegidos** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: <jcongonab@gmail.com> em 22 set. 2010b.

SHANMUGANATHAN, S.; GHOBAKHLOU A.; SALLIS P. Sensors for modeling the effects of climate change on grapevine growth and wine quality. In: 12TH WSEAS INTERNATIONAL CONFERENCE ON CIRCUITS, 12., 2008, Heraklion, Grécia. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2008. p. 315-321.

SOUSA, J. S. I. de; MARTINS, F. P. **Viticultura brasileira: principais variedades e suas características**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 368 p.

SRINIVASAN, K.; LEVIS, P. Rssi is under appreciated. In: THIRD ACM WORKSHOP ON EMBEDDED NETWORKED SENSORS (EmNets 2006), 3., 2006, Cambridge, EUA. **Proceedings...** EUA: ACM, 2006. 5 p.

STALLINGS, W. **Wireless Communications and Networks**. EUA: Prentice Hall, 2005. 559 p.

STANZA. Reino Unido. Iris Motes with 420 cc sensor board. Disponível em: <http://www.stanza.co.uk/emergentcity/?page_id=131>. Acesso em: 13 out. 2010.

SURI, A.; IYENGAR, S. S.; CHO, E. Ecoinformatics using wireless sensor networks: An overview. **Ecological Informatics**, EUA, v. 1, n. 3, p. 287-293, 2006.

TAOS. EUA. TSL2550D : Ambient Light Sensor (ALS). Disponível em: <http://www.taosinc.com/ProductDetails.aspx?id=%20133>. Acesso em: 10 out. 2010.

TINYOS. EUA. TinyOS Home Page. Disponível em: <http://www.tinyos.net>. Acesso em: 06 out. 2010.

TNODE. Holanda. SOWNet technologies. Disponível em: <http://www.sownet.nl/index.php/en/technology/t-nodes>. Acesso em: 06 out. 2010.

TRIANTAFYLLIDIS, A. et al. An open and reconfigurable wireless sensor network for pervasive health monitoring. In: SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON PERVASIVE COMPUTING TECHNOLOGIES FOR HEALTHCARE, 2., 2008, Tampere, Finlândia. **Proceedings...** [S.l.]: IEEE, 2008. p. 112-115.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à Agricultura de Precisão: Conceitos e Vantagens. **Ciência Rural**, Brasil, v. 32, n. 1, p. 159-163, 2002.

WANG, N.; ZHANG, N.; WANG M. Wireless sensors in agriculture and food industry —Recent development and future perspective. **Computers and Electronics in Agriculture**, EUA, v. 50, n. 1, p. 1-14, 2006.

WARK, T. et al. Transforming Agriculture through Pervasive Wireless Sensor Networks. **Pervasive Computing**, EUA, v. 6, n. 2, p. 50-57, 2007.

WERNER-ALLEN, G. et al. Monitoring volcanic eruptions with a wireless sensor network. In: SECOND EUROPEAN WORKSHOP ON WIRELESS SENSOR NETWORKS, 2., 2005, Istambul, Turquia. **Proceedings...** [S.l.]: IEEE, 2005. p. 108-120.

WILLOW TECHNOLOGIES. Reino Unido. XMesh network stack. Disponível em: <http://www.willow.co.uk/html/xmesh_network_stack.html>. Acesso em: 06 out. 2010.

XMESH. EUA. XMesh User's Manual. Disponível em: <http://www.memsic.com/support/documentation/wireless-sensor-networks/category/6-user-manuals.html>. Acesso em: 06 out. 2010.

XSERVE. EUA. Xserve User's Manual. Disponível em: <http://www.memsic.com/support/documentation/wireless-sensor-networks/category/6-user-manuals.html>. Acesso em: 13 out. 2010.

YICK, J.; MUKHERJEE, B.; GHOSAL D. Wireless sensor network survey. **Computer Networks**, EUA, v. 52, n. 12, p. 2292-2330, 2008.

YUNSEOP, K.; EVANS, R. G.; IVERSEN, W. M. Remote Sensing and Control of an Irrigation System Using a Distributed Wireless Sensor Network. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, EUA, v. 57, n. 7, p. 1379 – 1387, 2008.

ZHANG, N.; WANG, M.; WANG, N. Precision agriculture—a worldwide overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, EUA, v. 36, n. 2-3, p. 113-132, 2002.

ZHANG, Z. Investigation of wireless sensor networks for precision agriculture. In: ASAE/CSAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2004, Ottawa, Canadá. **Proceedings...** [S.l.]: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2004. p. 31-35.

ZIGBEE. EUA. ZigBee Alliance. Disponível em: <http://www.zigbee.org/>. Acesso em: 06 out. 2010.

ANEXO A – DETALHES TÉCNICOS DA RSSF UTILIZADA

A seguir são apresentadas informações complementares à RSSF utilizada para o desenvolvimento do trabalho. Essas informações estão relacionadas à placa sensora (MTS400/420), como já foi falado no Capitulo 4, na placa MTS400 encontram-se cinco sensores básicos (temperatura, umidade relativa, luminosidade, pressão atmosférica e acelerômetro em dois eixos), na placa MTS420 encontram-se os cinco tipos de sensores detalhados, além de um receptor GPS (MTS400, 2010):

A.1 SENSORES DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA (SENSIRION SHT11)

O Sensirion SHT11 possui sensores de umidade relativa e temperatura em um único chip, na Tabela 36 são descritas as especificações do Sensirion SHT11.

Tabela 36 - Especificações do sensor Sensirion SHT11.

Tipo de sensor	Sensirion SHT11	
Canais	Umidade relativa	Temperatura
Intervalo	0 a 100%	-40 °C a 80 °C
Precisão	± 3,5% RH	± 2°C
Intervalo de operação	3,6 a 2,4 V	
Interface	Interface Digital	

A.2 SENSOR DE LUMINOSIDADE (TAOS TSL2550)

O Taos TSL2550 é um sensor digital de luminosidade, combina dois fotodiodos e um conversor analógico-digital em um circuito integrado CMOS para realizar as suas medições, na Tabela 37 são descritas as especificações do Taos TSL2550.

Tabela 37 - Especificações do sensor TAOS TSL2550.

Tipo de sensor	Taos TSL2550
Canais	Luminosidade
Intervalo	400 – 1.000 nm
Intervalo de operação	3,6 a 2,7 V
Interface	Interface Digital

A.3 SENSOR DE TEMPERATURA E PRESSÃO ATMOSFÉRICA (INTERSEMA MS5534AM)

O Intersema MS5534AM inclui um sensor de pressão e temperatura, na Tabela 38 são descritas as especificações deste sensor.

Tabela 38 - Especificações do sensor Intersema MS5534AM.

Tipo de sensor	Intersema MS5534
Canais	Pressão e Temperatura
Intervalo	Pressão: 300 a 110 mbar Temperatura: -10 °C a 60 °C
Precisão	Pressão: ± 3,5% Temperatura: ± 2 °C
Intervalo de operação	3,6 a 2,2 V
Interface	Interface Digital

A.4 ACELERÔMETRO (ADXL202JE)

O acelerômetro é um MEMS que permite medir a aceleração em dois eixos. Pode ser usado para detectar inclinação, movimento, vibração ou movimentos sísmicos. As saídas do sensor são conectadas ao canal ADC do mote (nos canais ADC1 e ADC2), na Tabela 39 são descritas as especificações deste sensor.

Tabela 39 - Especificações do acelerômetro ADXL202JE.

Tipo de sensor	Analog Devices ADXL202JE
Canais	X (ADC1), Y (ADC2)
Intervalo	±2 G (1 G = 9,81 m/s^2)
Sensibilidade	167 mV/G, ±17 %
Resolução	2 mG (0,002 G) RMS
Offset	VBATTERY/2 ± 0,4 V
Intervalo de operação	3,6 a 3,0 V
Interface	Interface Analógica