

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE
TECNOLOGIAS MESTRADO EM SISTEMAS DE
INFRAESTRUTURA URBANA**

ÉRIKA CAPELLI DE PAULA

**DESENVOLVIMENTO E TESTE DE RSSF PARA
MONITORAMENTO DE AMBIENTES EM
EDIFICAÇÕES**

CAMPINAS

2017

ÉRIKA CAPELLI DE PAULA

**DESENVOLVIMENTO E TESTE DE RSSF PARA
MONITORAMENTO DE AMBIENTES EM
EDIFICAÇÕES**

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do Título de Mestre ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Omar Carvalho
Branquinho

**PUC-CAMPINAS
2017**

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas e
Informação - SBI - PUC-Campinas

t6221.3851 Paula, Érika Capelli de.
P324d Desenvolvimento e teste de RSSF para monitoramento de
ambientes em edificações / Érika Capelli de Paula. - Campinas: PUC-
Campinas, 2017.
84 p.

Orientador: Omar Carvalho Branquinho.
Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Cam-
pinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-
Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Inclui anexo e bibliografia.

1. Redes de sensores sem fio. 2. Sistemas de computação sem fio
3. Edificações. 4. Detectores. 5. Inovações tecnológicas. I. Branquinho,
Omar Carvalho. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas.
Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pós-
Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana. III. Título.

22.ed. CDD – t621.3851

ÉRIKA CAPELLI DE PAULA

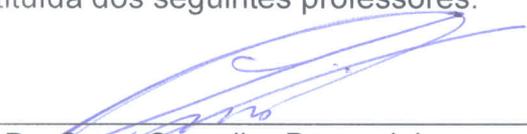
**DESENVOLVIMENTO E TESTE DE RSSF PARA
MONITORAMENTO DE AMBIENTES EM EDIFICAÇÕES**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Orientador (a): Prof. (a) Dr. (a) Omar Carvalho Branquinho.

Co-orientação: Prof. (a) Dr. (a) Lia Toledo Moreira Mota.

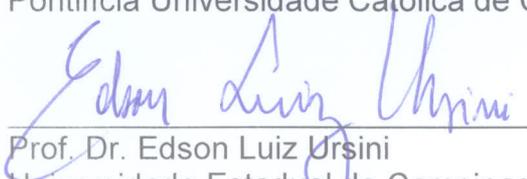
Dissertação defendida e aprovada em 30 de junho de 2017 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Profa. Dra. Indayara Bertoldi Martins
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Edson Luiz Ursini
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Dedico este trabalho primeiramente a Deus. Ao meu noivo Gustavo, aos meus pais, Ideraldo e Rose, e ao meu irmão Igor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu noivo, amigo e companheiro de profissão, Gustavo, pelo apoio, carinho, compreensão e auxílio técnico, durante todo o decorrer do trabalho.

Agradeço à minha família, meu pai, Ideraldo, minha mãe, Rose, meu irmão, Igor, pelo suporte, apoio e paciência, em todos os momentos durante a realização deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Omar Carvalho Branquinho, pelo auxílio, empenho e paciência, dividindo um pouco de seu vasto conhecimento comigo.

Agradeço aos meus queridos mestres Alexandre de Assis Mota (*in memoriam*) e Lia Toledo Moreira Mota, por todo auxílio, incentivo e palavras de ânimo.

Agradeço a todos os colegas de curso que, em mais diversas áreas, contribuíram para meu crescimento profissional e como pessoa.

Agradeço a todos os professores e colaboradores, do curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana, e ao técnico Eduardo Veiga, pela disponibilidade de ajuda em todo tempo.

Agradeço aos alunos da graduação, Pedro, Eloisa e Guilherme, pela disposição, auxílio e ajuda na realização dos testes.

Agradeço a Pontifícia Universidade Católica de Campinas pelo auxílio com a bolsa de estudos a mim concedida.

“Nada façais por contenda ou por vanglória,
mas por humildade; cada um considere os
outros superiores a si mesmo”.

Bíblia Sagrada

RESUMO

PAULA, Érika Capelli. *Desenvolvimento e teste de RSSF para monitoramento de ambientes em edificações*. 84p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) – Programa de Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2017.

A necessidade do monitoramento de grandezas relacionadas ao conforto de ambientes internos de edificações, visando proporcionar bem-estar a seus ocupantes, fez com que se pensasse em uma solução utilizando Rede de Sensores Sem Fio (RSSF). Este projeto de pesquisa propõe a construção de uma RSSF, com os elementos Base, Nó sensor e Repetidor, e metodologia, de verificação e distribuição desses elementos, que visam o monitoramento de grandezas relacionadas ao conforto de ambientes *indoor*, em um contexto urbano. Para prova de conceito do que foi proposto e verificação do comportamento da rede, foram coletadas medidas de temperatura, Umidade Relativa (UR) e intensidade do sinal (RSSI - *Received Signal Strength Indication*), sendo a última o foco de análise no trabalho, o que permitiu a adequação da RSSF para possibilitar o distanciamento entre a Base e o ambiente monitorado pelos Nós sensores. Os ensaios foram divididos em duas partes, a primeira para validação dos componentes, antena Path setorial e sensor SHT75, e a segunda para coleta de medidas, no ambiente interno de uma biblioteca. Através dos ensaios realizados, foi comprovado, através da observação do comportamento da intensidade do sinal, o funcionamento da RSSF e o atendimento da proposta.

Palavras-chave: Rede de sensores sem fio. Monitoramento. Intensidade do sinal.

ABSTRACT

PAULA, Érika Capelli. *Development and test of WSN for monitoring environments in buildings*. 84p. Dissertation (Master in Urban Infrastructure Systems) – Postgraduate Program in Urban Infrastructure Systems, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2017.

The necessity to monitor the greatness related to the comfort of internal environments of buildings, aiming to provide well-being to its occupants, made one think of a solution using Wireless Sensor Network (WSN). This research project proposes the construction of a WSN, with the elements Base, Sensor Node and Repeater, and methods, of verification and distribution of these elements, that aim at the monitoring of greatness related to the comfort of indoor environments, in an urban context. For proof of concept of what was proposed and verification of the behavior of the network, measurements of Temperature, Relative Humidity (RH) and Signal Strength Indication (RSSI) were collected, the latter being the focus of analysis at work, the Which allowed the adaptation of the WSN to allow the distance between the Base and the environment monitored by the Sensor Nodes. The tests were divided into two parts, the first one to validate the components, sectoral antenna Antenna and SHT75 sensor, and the second one to collect measurements, in the internal environment of a library. Through the tests, it was verified, through the observation of the signal intensity behavior, the operation of the WSN and the fulfillment of the proposal.

Keywords: Wireless sensor network. Monitoring. Signal strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Padrões globais de urbanização, 1995.....	17
Figura 2. Padrões globais de urbanização, 2015.....	17
Figura 3. Diagrama de um sistema de comunicação.....	20
Figura 4. Relação entre BER e E_b/N_0	23
Figura 5. Estrutura geral de uma RSSF.....	24
Figura 6. Possível topologia para uma RSSF.....	24
Figura 7. Elementos de um nó sensor.....	26
Figura 8. Arquitetura do nó sensor em um SSM.....	28
Figura 9. Exemplo da distribuição dos nós de uma RSSF para monitoramento da qualidade do ar urbano e a matriz de correlação escalonada em $\Delta t = 0$	30
Figura 10. Cenário da primeira etapa da RSSF.....	31
Figura 11. Cenário da segunda etapa da RSSF.....	31
Figura 12. Foto da Base.....	33
Figura 13. Foto do Nó sensor.....	33
Figura 14. Divisão dos bytes do pacote.....	36
Figura 15. Mapa do pacote de 52 bytes.....	36
Figura 16. Diagrama temporal de tarefas do Python (Computador), Base e Nó sensor.....	38
Figura 17. Antenas utilizadas nos ensaios do trabalho.....	39
Figura 18. Diagrama do <i>setup</i> do #Ensaio 01.....	40
Figura 19. Foto da câmara climática, vista externa.....	42
Figura 20. Diagrama do <i>setup</i> do #Ensaio 02.....	42
Figura 21. Planta baixa da biblioteca com todos os pontos escolhidos.....	45
Figura 22. Localização do ponto B.....	46
Figura 23. Localização do ponto C.....	46
Figura 24. Localização do ponto D.....	47
Figura 25. Localização do ponto E.....	47
Figura 26. Localização do ponto F.....	48
Figura 27. Localização do ponto G.....	48
Figura 28. Localização dos pontos H e I, da esquerda para a direita, respectivamente.....	49
Figura 29. Diagrama do <i>setup</i> de teste.....	50
Figura 30. Foto de localização da Base durante o teste.....	51
Figura 31. Visão disponibilização dos elementos da RSSF #Ensaio 04.....	53
Figura 32. Recorte do código Python.....	54
Figura 33. Diagrama temporal dos métodos aplicados ao #Ensaio 04.....	55
Figura 34. Foto do <i>setup</i> do #Ensaio 01.....	56
Figura 35. Diagrama de radiação da antena setorial (dB e graus de rotação).....	57
Figura 36. Foto de vista interna da câmara climática, em que a e b se referem aos transdutores, modelo SHT75, e c ao termohigrômetro.....	58
Figura 37. <i>Link</i> de rádio entre Base e Nó sensor com SHT75, onde a se refere à Base, b ao Nó sensor e c ao orifício para conexão entre nó sensor e SHT75.....	59
Figura 38. Nó sensor no ponto B.....	61
Figura 39. Nó sensor no ponto C.....	61
Figura 40. Nó sensor no ponto D.....	62
Figura 41. Nó sensor no ponto E.....	62
Figura 42. Nó sensor no ponto F.....	63
Figura 43. Nó sensor no ponto G.....	63
Figura 44. Nó sensor nos pontos H e posteriormente no ponto I.....	64
Figura 45. Base fixa na parte externa da biblioteca.....	64
Figura 46. Gráfico Número de medidas versus RSSI <i>downlink</i> (dBm).....	65

Figura 47. Gráfico Número de medidas versus RSSI <i>uplink</i> (dBm).....	65
Figura 48. Gráfico Número de medidas versus temperatura (°C).	66
Figura 49. Gráfico Número de medidas versus UR (%).	66
Figura 50. Gráfico de medidas da RSSI no Repetidor, na ida.....	68
Figura 51. Gráfico de medidas da RSSI no Nó sensor, em cada ponto de coleta.	69
Figura 52. Gráfico de medidas da RSSI no Repetidor, na volta.	69
Figura 53. Gráfico de medidas da RSSI na Base.....	70
Figura 54. Gráfico Número de medidas versus temperatura (°C).	72
Figura 55. Gráfico Número de medidas versus UR (%).	72
Figura 56. Mapeamento de temperatura e UR médias, nos pontos de coleta de medidas.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Taxa de crescimento urbano 1995-2015.....	18
Tabela 2. Principais características do sensor SHT75.	41
Tabela 3. Medidas de temperatura	60
Tabela 4. Medidas de UR.....	60
Tabela 5. Valores máximos e mínimos de RSSI em dBm.	67
Tabela 6. Valores máximos e mínimos de RSSI em dBm.	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANATEL = Agência Nacional de Telecomunicações

CEMADEN = Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

COR = Centro de Operações do Rio

CRC = *Cyclic Redundancy Check*

FSK = *Frequency-shift keying*

GPS = *Global Positioning System*

IoT = *Internet of Things*

ISM = *Industrial, Scientific & Medical*

ISU = *Interface Sensor Universal*

LQI = *Link Quality Indicator*

MCU = *Micro Controller Unit*

PER = *Packet Error Rate*

PUCC 1 = Pontifícia Universidade Católica de Campinas - Campus 1

RFC = Relação Frente-Costas

RSSF = Rede de Sensores Sem Fio

RSSI = *Received Signal Strength Indication*

SPI = *Serial Peripheral Interface*

SSM = Sistema de Sensores Modulares

TIC = Tecnologias de Informação e Comunicação

UR = Umidade Relativa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Motivação	15
1.2	Organização do trabalho	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	Monitoramento em meio urbano	16
2.2	Rede de Sensores sem Fio.....	20
2.2.1	Sistema de comunicação	20
2.2.2	Indicador de Intensidade do Sinal	21
2.2.3	Estrutura de uma RSSF	23
2.3	Redes de Sensores sem Fio para Monitoramento Urbano.....	26
2.3.1	Aplicação de RSSF para Monitoramento Urbano	27
3	PROPOSTA	31
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	33
4.1	Base e Nó sensor	33
4.2	Pacote, <i>Firmware</i> e código do Python	34
4.2.1	Plataforma Rádiumino e Pacote.....	35
4.2.2	<i>Firmware</i>	37
4.2.3	Código do Python	37
4.3	Ensaio realizado para validação de componentes	38
4.4	Ensaio proposto para verificação da RSSF.....	44
5	RESULTADOS.....	56
5.1	Resultados dos ensaios de validação de componentes	56
5.2	Ensaio proposto para verificação da RSSF.....	61
6	CONCLUSÃO	74
6.1	Contribuições.....	75
6.2	Proposta para trabalhos futuros	75
7	REFERÊNCIAS.....	76

1 INTRODUÇÃO

O movimento de urbanização cresceu exponencialmente nos últimos anos, desta forma, o ambiente no qual as pessoas vivem também mudou (MARTINI, 2013).

Nos países industrializados, segundo (OLESEN, 2005), mais de 90% da população têm convivido dentro de ambientes internos artificiais (*indoor*), como em suas residências, no transporte e no trabalho. Esse fato faz com que o ambiente *indoor* tenha mais influência na qualidade de vida das pessoas, do que ambientes externos.

Em um ambiente de trabalho, *indoor*, por exemplo, estima-se que o gasto com funcionários é 100 vezes maior do que o gasto com energia, o que torna, produtivamente falando, o conforto e bem-estar das pessoas muito mais importantes do que outros nichos, ao passo que sua produtividade está diretamente ligada a esses fatores (OLESEN, 2005).

Desta forma, torna-se imprescindível o monitoramento de grandezas ligadas ao conforto do ambiente, para que o mesmo possa ser configurado, visando atender as mais diversas necessidades do ser humano.

Por exemplo, para que seja possível medir o grau de iluminação de uma casa, a intensidade sonora em um hospital ou a temperatura confortável para alunos em uma biblioteca, se faz necessária a utilização de tecnologias adequadas para esse fim. A ideia é que ambientes instrumentados por nós sensores possam promover às pessoas, a possibilidade de acompanharem em tempo real informações variadas, proporcionando uma avançada interação com o meio ambiente (RODRIGUES, 2011).

A maioria dos países desenvolvidos já faz o monitoramento de ambientes através de redes sem fio e, em suma, utilizam a rede móvel celular ou a Internet para isso. Porém no caso do Brasil, esses sistemas são de baixa confiabilidade, ao passo que carecem de melhor infraestrutura para proporcionarem melhor desenvolvimento (PENA et al., 2012). Assim, a opção para o monitoramento de ambientes internos de edificações ou mesmo de micro regiões urbanas, para países ainda em desenvolvimento, é a RSSF que utiliza a rádio frequência para estabelecer a comunicação entre seus componentes e possibilita a criação de sistemas de comunicação de forma mais simples e econômica.

O presente trabalho propõe identificar uma tecnologia com a qual se tem domínio nacional, visando garantir a independência de tecnologias onerosas e instáveis, do ponto de vista de comunicação.

1.1 Motivação

Conforme o cenário atual, a motivação do presente trabalho, é o de disseminar as funcionalidades e possibilidades de uma RSSF. Visa mostrar a importância de seu desenvolvimento em áreas urbanas. Sendo nessas, áreas públicas, privadas, ambientes internos ou externos, o fator adaptação e personalização da rede, como determinantes para se obterem os resultados desejados, de acordo com cada aplicação.

1.2 Organização do trabalho

O trabalho está organizado em seis capítulos:

O Capítulo 2 traz primeiramente os conceitos referentes ao monitoramento, em um contexto urbano e os que abrangem uma RSSF, tais como, sua composição física e lógica. Também traz a revisão da bibliografia de trabalhos e suas propostas para aplicação das RSSF em meio urbano.

No Capítulo 3 é exposta a proposta referente ao desenvolvimento do trabalho.

O Capítulo 4 apresenta o material e os métodos utilizados para a obtenção do que foi proposto.

O Capítulo 5 disponibiliza os resultados obtidos, a partir dos métodos previamente apresentados.

Por fim, no Capítulo 6, é comentado o resultado geral do trabalho, a partir da referida proposta, observando contribuições e possíveis sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo, além de abordar o monitoramento urbano, também traz conceitos de uma RSSF e algumas de suas possíveis aplicações.

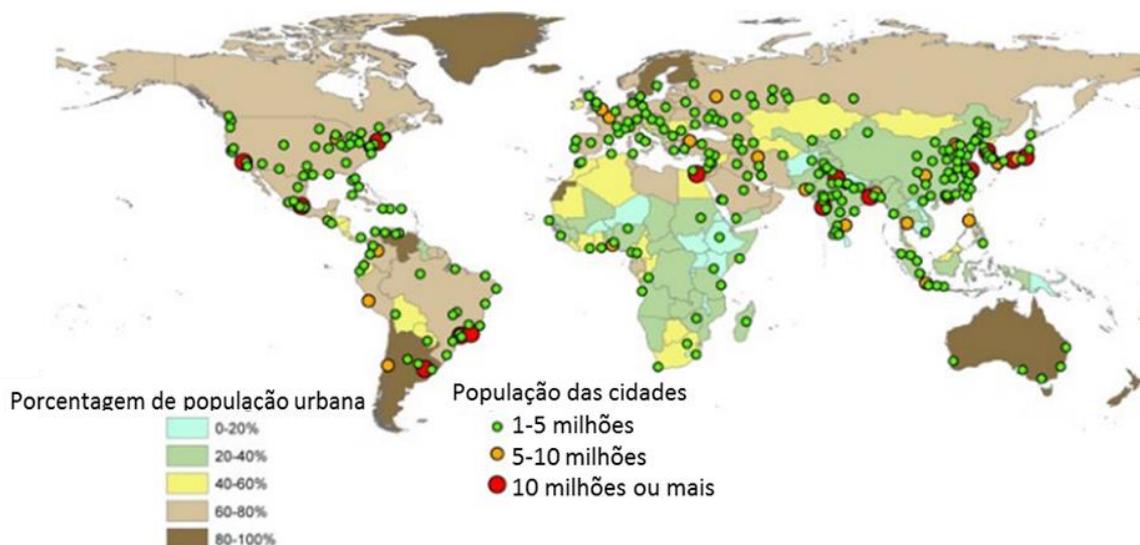
2.1 Monitoramento em meio urbano

O crescimento populacional, muitas vezes acelerado e desordenado, em áreas urbanas, tem se tornado assunto alvo quando se fala em grandes cidades. Estima-se que a população urbana mundial total está, atualmente, em, aproximadamente, 7,4 bilhões, e em 2050, está prevista para variar de 8,3 a 10,9 bilhões, sendo que nos países em desenvolvimento, 70% a 80% da população, serão habitantes urbanos. Assim, planejadores urbanos vêm propondo duas estratégias para driblar a crescente pressão populacional exercida sobre as áreas urbanas. A primeira ocorre por meio do controle da população, enquanto a segunda trata de práticas eficientes de gestão urbana. Para essa gestão, se faz necessária a interpretação de dados oriundos da população da área urbana vislumbrada, sendo estes adquiridos através de monitoramento, não só no que se refere às pessoas, como também ao espaço que elas ocupam. (FERNÁNDEZ-ARES et al., 2017)

A ONU-Habitat é um programa das Nações Unidas que trabalha para um futuro urbano melhor, tendo como missão promover o desenvolvimento social e ambiental sustentável dos assentamentos humanos e a obtenção de abrigo adequado para todos. Este programa reúne pesquisas e lança relatórios com diversos dados, no que tange cidades do mundo todo.

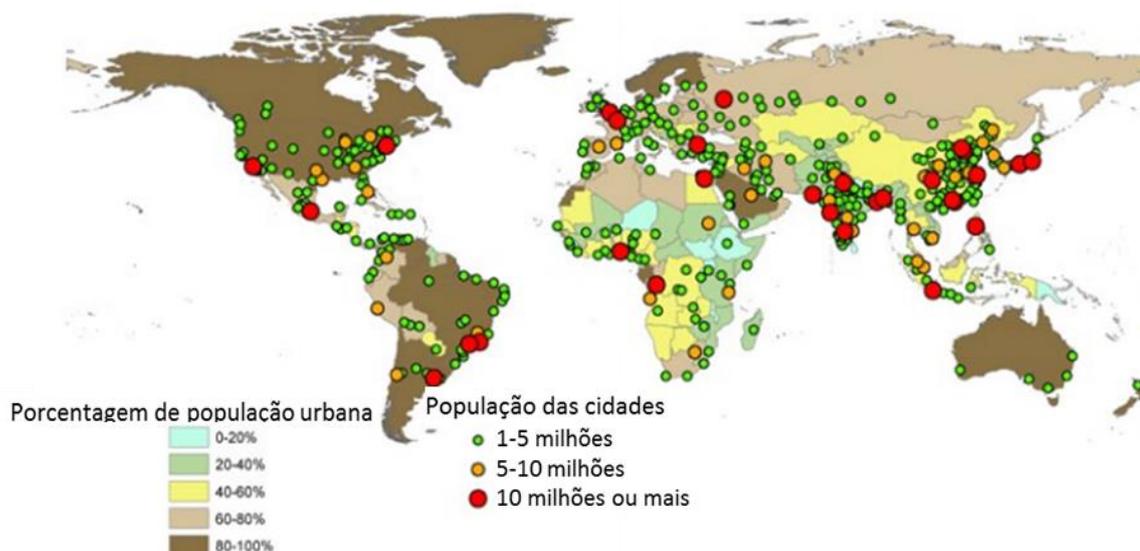
O relatório publicado em 2016, *WORLD CITIES REPORT 2016* (UN-HABITAT, 2016), ilustra em dois mapas mundiais, Figura 1 e Figura 2, como se deu o crescimento urbano entre os anos de 1995 e 2015, nos quais respectivamente pode se ver a porcentagem de áreas urbanas e o tamanho populacional de algumas cidades, de diversas regiões do globo terrestre. (UN-HABITAT, 2016)

Figura 1. Padrões globais de urbanização, 1995.



Fonte: Adaptado de UN-HABITAT (2016).

Figura 2. Padrões globais de urbanização, 2015.



Fonte: Adaptado de UN-HABITAT (2016).

A Tabela 1 faz um paralelo entre o crescimento populacional no mundo, em países de alto, médio e baixo desenvolvimento econômico e entre a África, Ásia, América Latina e Caribe, Europa, América do Norte e Oceania, nos anos de 1995 a 2015. Dessa tabela depreende-se a informação de que o nível de desenvolvimento de um país tem se tornado inversamente proporcional ao crescimento de sua população urbana.

Tabela 1. Taxa de crescimento urbano 1995-2015.

Região/Área	Taxa média anual de variação da população urbana				Período completo
	1995-2000	2000-2005	2005-2010	2010-2015	1995-2015
Mundo	2.13%	2.27%	2.20%	2.05%	2.16%
Países de alta renda	0.78%	1.00%	1.00%	0.76%	0.88%
Países de média renda	2.74%	2.77%	2.61%	2.42%	2.63%
Países de baixa renda	3.54%	3.70%	3.70%	3.77%	3.68%
África	3.25%	3.42%	3.55%	3.55%	3.44%
Ásia	2.79%	3.05%	2.79%	2.50%	2.78%
América Latina e Cariben	2.19%	1.76%	1.55%	1.45%	1.74%
Europa	0.10%	0.34%	0.34%	0.33%	0.31%
América do Norte	1.63%	1.15%	1.15%	1.04%	1.24%
Oceania	1.43%	1.49%	1.78%	1.44%	1.53%

Fonte: Adaptado de UN-HABITAT (2016).

Decorrente desse quadro, o cenário populacional urbano, começou a apresentar algumas características indesejáveis, tais como:

- Mudança do padrão familiar;
- Aparecimento de “favelas” e periferias;
- Exclusão e aumento da desigualdade social;
- Falta de segurança;
- Aumento da migração internacional.

Sendo assim, se começa a falar em pontos cruciais para reversão desse quadro, adotando medidas que abordam as cidades em primeiro plano, com intenção de trazer um desenvolvimento transformador e sustentável as áreas urbanas. São eles:

- Dinâmica econômica das cidades em contexto nacional e global;
- Resiliência, capacidade das cidades contra riscos ambientais;
- A forma de evolução espacial das cidades;
- Surgimento de cidades inteligentes e conectadas, que são impulsionadas pelas Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) e pela interligação de seus diversos dados (UN-HABITAT, 2016).

Dentre os pontos passíveis de discussão, a fim de que se tenha uma dinâmica urbana adequada, o seu monitoramento figura como um dos principais. Desta forma, muitos programas, nesse sentido, estão se iniciando, sejam eles de iniciativa privada ou governamental. O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), por exemplo, trabalha com o fator

resiliência que, por meio do monitoramento, objetiva a prevenção de desastres naturais (CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTA DE DESASTRES NATURAIS, 2017).

Outro exemplo é o Centro de Operações do Rio (COR), que foi instituído para auxiliar no gerenciamento da cidade do Rio de Janeiro, durante as Olimpíadas de 2016, e continua em funcionamento. Inaugurado em 2010, trata-se de um prédio que concentra todas as informações coletadas da cidade do Rio. Esse monitoramento é realizado todos os dias da semana, durante vinte e quatro horas e intenta buscar soluções antecipadas e riscos alertados pelo monitoramento. Utilizando tecnologia atual para a aquisição e gerência das informações, conta com diversos tipos de sensores distribuídos pela cidade, em pontos estratégicos e mais de oitocentas câmeras de monitoramento. Todas as informações são transportadas, em sua maior parte, por redes de fibra óptica até o telão da sala de controle do COR, a qual abriga mais de quinhentos profissionais de diversas agências, como por exemplo da Defesa Civil, das concessionárias de energia, água, entre outros, os quais são responsáveis por tomada de decisões, caso haja alertas de risco (RJ, 2017).

2.2 Rede de Sensores sem Fio

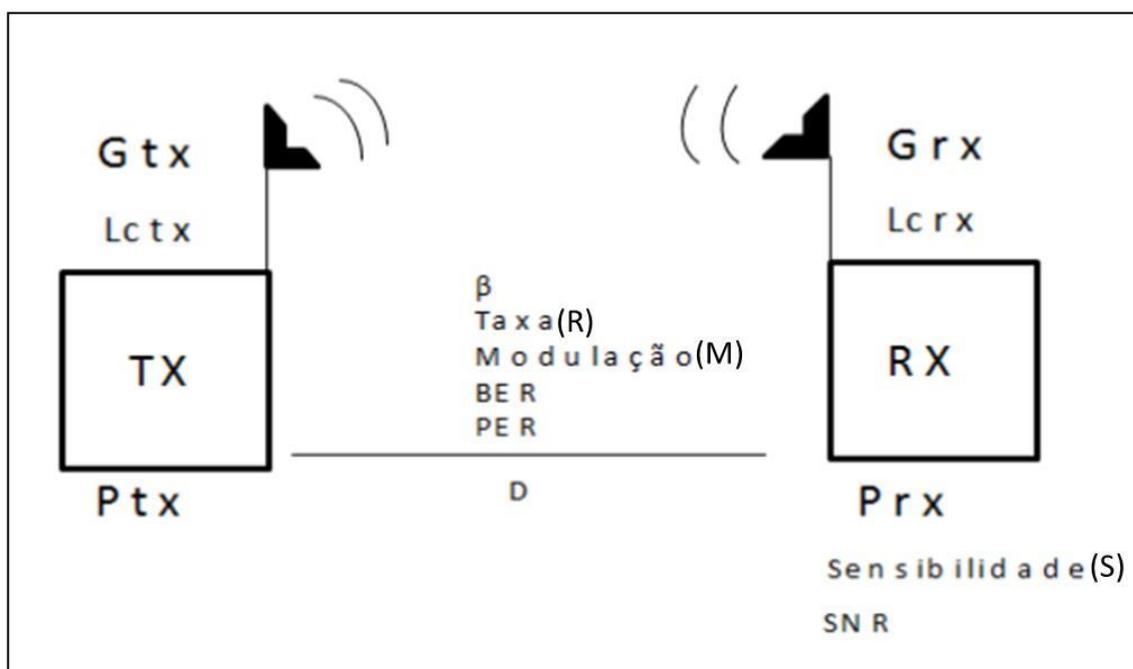
Conhecida como RSSF, esse tipo de rede surgiu há alguns anos e consiste em nós sensores individuais capazes de interagir com o ambiente no qual estão inseridos, por meio de sensoriamento de parâmetros físicos. Em essência, os nós de uma rede de sensores sem fio possuem capacidade de processamento, ainda que reduzida, e realizam sensoriamento e comunicação em meio não cabeado (WYKRET, 2014).

As RSSF têm atraído grande atenção devido à sua aplicabilidade em campos como, aeronáutica, militar, indústria, transporte, agricultura, cidades inteligentes, logística, engenharia biomédica, monitoramento de ambientes, resposta a desastres e antiterrorismo (LI; BAO; SHEN, 2011).

2.2.1 Sistema de comunicação

Para a formação de uma RSSF é preciso se estabelecer um sistema de comunicação, o qual é formado a partir, basicamente, de transceptores, os quais possuem antenas, através das quais estabelecem um *link* de rádio para comunicar-se. A Figura 3 mostra o diagrama genérico de um sistema de comunicação.

Figura 3. Diagrama de um sistema de comunicação.



Fonte: Adaptado de CARDOSO (2015).

O diagrama (Figura 3) trás, além dos já citados, outros importantes elementos a serem considerados para o estabelecimento de uma comunicação, sendo esses:

- P_{tx} : Potência de transmissão;
- G_{tx} : Ganho da antena de transmissão;
- $L_{c_{tx}}$: Atenuação dos cabos de transmissão;
- D : Distância entre o transmissor e o receptor;
- β : Índice que caracteriza o ambiente;
- R : Taxa de transmissão entre os rádios;
- M : Modulação utilizada;
- BER: Taxa de erro de bit;
- PER: Taxa de erro de pacote;
- P_{rx} : Potência de recepção;
- G_{rx} : Ganho da antena de recepção;
- $L_{c_{rx}}$: Atenuação dos cabos na recepção;
- S : Sensibilidade, sendo esta o limiar da potência de recepção, para que se tenha uma BER específica, que pode ser verificada nas diferentes modulações;
- SNR: Relação sinal ruído, dada pelas suas respectivas potências (CARDOSO, 2015).

Logo, nota-se que para o estabelecimento da comunicação, é necessária a combinação de muitas variáveis, a qual pode melhorar o sistema ou degradá-lo a um nível que o leve à perda de conexão.

2.2.2 Indicador de Intensidade do Sinal

O indicador da qualidade do *link* (*Link Quality Indicator - LQI*) estabelecido em uma RSSF é verificado, no presente trabalho, por meio do indicador de intensidade do sinal recebido (*Received Signal Strength Indication - RSSI*).

A RSSI, grandeza medida em dBm, indica a potência em que o sinal de rádio chegou ao receptor. Assim, com essa medida de potência, é possível verificar quão afetado o sinal foi por obstáculos, distância, entre outros, desde que deixou seu transmissor para alcançar o receptor.

A RSSI pode ser calculada pela Equação (1).

$$\text{RSSI} = P_0 - 10 n \text{Log}(d/d_0) + X \quad (1)$$

em que:

RSSI é a intensidade do sinal de rádio recebido (dBm);

P_0 é a potência recebida na distância de referência (dBm);

n é utilizado como estimativa do *path loss*, variável aleatória referente à influência do ambiente no sinal;

d é a distância percorrida pelo sinal (cm);

d_0 é a distância da medida de referência (cm);

X é uma variável aleatória que representa a influência do ambiente no sinal.

(SILVA, 2014)

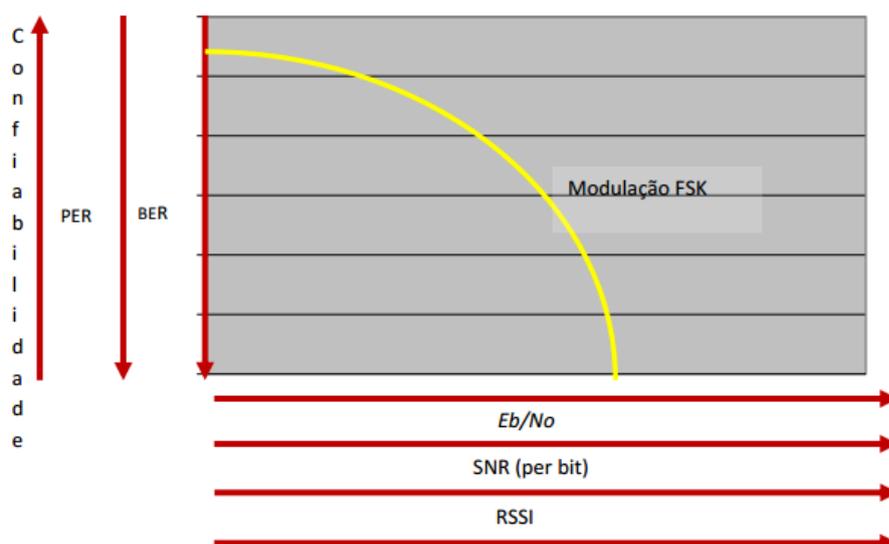
Outra métrica utilizada para se determinar o nível de qualidade do *link* é a taxa de erro de bit (*Bit Error Rate* - BER), que na modulação FSK é dada pela Equação (2).

$$\text{BER} = \frac{1}{2} e^{-E_b/2N_0} \quad (2)$$

Onde, E_b/N_0 é a relação entre a energia do bit e a densidade espectral de potência do ruído.

A referência (CHAVES, 2016) traz um gráfico, Figura 4, que ilustra, de maneira simplificada, a relação entre as grandezas que indicam a qualidade da transmissão do sinal. Nesse caso específico a curva refere-se ao relacionamento entre a BER e E_b/N_0 , utilizada por (CHAVES, 2016) em seus testes. Este tipo de curva é obtido em função da modulação, que na figura esquematicamente está representado pela modulação FSK, que foi a utilizada nos testes.

Figura 4. Relação entre BER e E_b/N_0 .



Fonte: CHAVES (2016).

Na Figura 4, tem-se:

- Confiabilidade: reúne além do nível de disponibilidade do sistema de comunicação, também o de integridade dos dados transmitidos e recebidos;
- PER: A taxa de erro de pacote (*Packet Error Rate* - PER) também pode figurar como uma métrica de qualidade de transmissão;
- BER, E_b/N_0 , RSSI e SNR (já mencionados anteriormente);
- FSK: A *Frequency Shift Key* (FSK), a qual também será a modulação utilizada no presente trabalho, trata-se da única modulação que permite flexibilidade entre a banda ocupada e a taxa, permitindo ocupações maiores de banda com menores taxas (CARDOSO, 2015).

2.2.3 Estrutura de uma RSSF

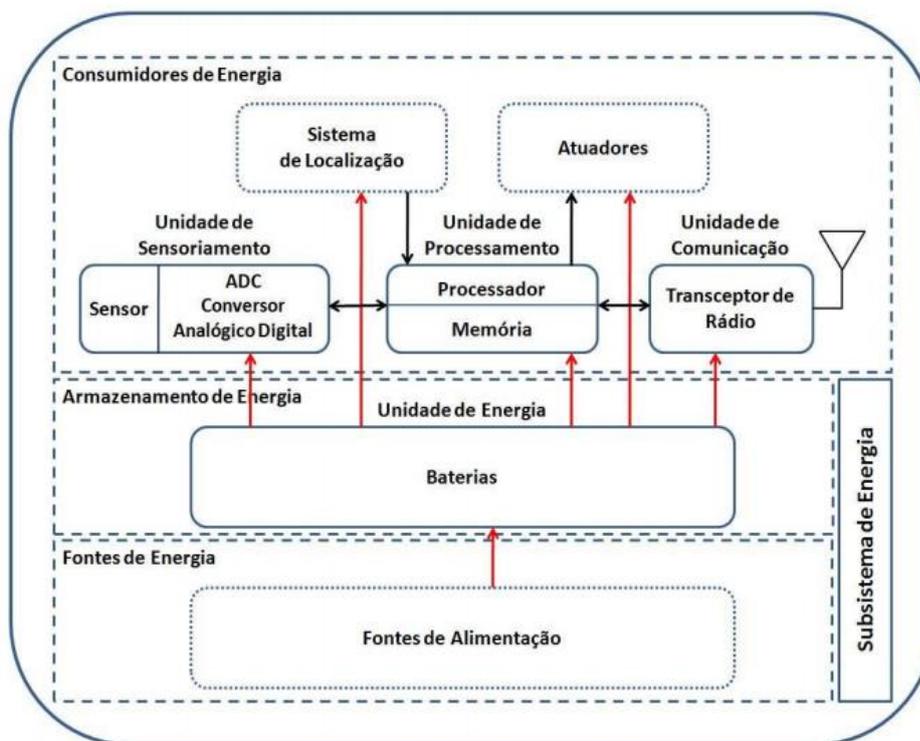
Podendo ser composta por um grande número de nós sensores, a Figura 5 representa uma possível estrutura de uma RSSF. Para gerenciar essa estrutura, são implementados, de acordo com a necessidade, diversos algoritmos de roteamento que têm a tarefa de gerenciar informações e reduzir atrasos e perda de dados da rede (PRASAD; MOHAN, 2016).

Em uma RSSF, o nó sensor é composto, basicamente, por quatro componentes principais, os quais devem trabalhar sempre para que haja o melhor desempenho com o mínimo possível de gasto energético. São eles:

- Microcontrolador, onde ocorre todo o processamento do sensor. Nele, ficam armazenados os programas do sensor, os protocolos, os dados a serem transmitidos e é responsável pela coleta de dados dos transdutores ou acionamento, quando houver, dos atuadores e pelo envio ou recebimento dos dados, através de seu transceptor;
- Transdutores e atuadores são os dispositivos que permitem a interação entre sensor e o ambiente. Sendo os transdutores, responsáveis por efetuar medidas, capturando informações de grandezas do ambiente e as transformando em dados que possam ser trabalhados pelo microcontrolador. Já os atuadores, são dispositivos que podem interagir com o ambiente, exercendo uma ação, como exemplo, o acionamento ou o desligamento de uma máquina;
- Transceptor que é especificamente o dispositivo que permite a comunicação sem fio entre os sensores;
- Fonte de alimentação, a qual fornece energia ao sistema, sendo muitas vezes limitadas a baterias (ASSUMPÇÃO, 2011).

Para um melhor entendimento, a referência (CANSADO, 2011) mostra que um nó sensor é constituído basicamente por quatro unidades, sendo estas, a de sensoriamento, de processamento, de comunicação e de energia. A partir daí se pode adicionar outros elementos, conforme o objetivo de cada aplicação, como mostram as linhas pontilhadas da Figura 7.

Figura 7. Elementos de um nó sensor.



Fonte: CANSADO (2011).

2.3 Redes de Sensores sem Fio para Monitoramento Urbano

Em (LYKOV; ASAKURA; HANAOKA, 2017) mostra que a necessidade de ferramentas avançadas para a compreensão do comportamento humano, a partir de dados sensoriais, está crescendo atualmente, uma vez que aplicações como monitoramento de saúde, computação gráfica e interface homem-máquina, têm alta necessidade de adquirir informações para um melhor funcionamento.

À medida que as novas tecnologias sem fio se tornam cada vez mais avançadas, a extensão de suas aplicações também se torna maior. Dentre as redes sem fio, as que mais têm figurado como inovações são as RSSF, que são dinâmicas e flexíveis. Estas se aplicam a diversos ambientes, desde os rurais, mas principalmente os urbanos, que por possuir vários obstáculos a serem driblados e por apresentar cenários diversos em uma pequena área, faz com que este tipo de rede precise ter caráter adaptativo (RASHID; REHMANI, 2016).

A referência (OLIVEIRA; GONCALVES, 2010) mostra que há anos se ouve sobre a utilização de sensores para o monitoramento de problemas climáticos e de meio ambiente. Porém, para essas situações, logo se pensa em macro escala, ou seja, nos satélites e nas diversas estações de monitoramento climático

espalhadas pelo globo terrestre e que têm de fato auxiliado na verificação em tempo real, de grandes áreas. Mas, existem áreas da ciência que necessitam de monitoramento em microescala, por exemplo, impactos microclimáticos causados a seres humanos e animais de uma pequena área. Assim, o autor traz a importância do desenvolvimento de RSSF em ambientes urbanos, os quais podem possuir diversos microclimas em uma pequena área.

Outro enfoque em (OLIVEIRA; GONCALVES, 2010), são os benefícios do monitoramento urbano que alcançam não só a população, mas tornam-se também fonte de informações vantajosas para campanhas publicitárias, por exemplo, que tornam a conhecer melhor os hábitos e costumes do dia-a-dia de seu público alvo. Também cooperam como, fonte de obtenção de dados para pesquisas e estudos nas mais variadas áreas do conhecimento. Desta forma, o autor defende que para o desenvolvimento dessas redes de monitoramento, tanto para a plataforma de *Hardware* como para a de *Software*, deve-se objetivar a maior eficiência, com menor uso de potência, e a diminuição do preço de construção. Nesse momento se alcançará uma ampliação do uso de RSSF para monitoramento de microclimas urbanos.

2.3.1 Aplicação de RSSF para Monitoramento Urbano

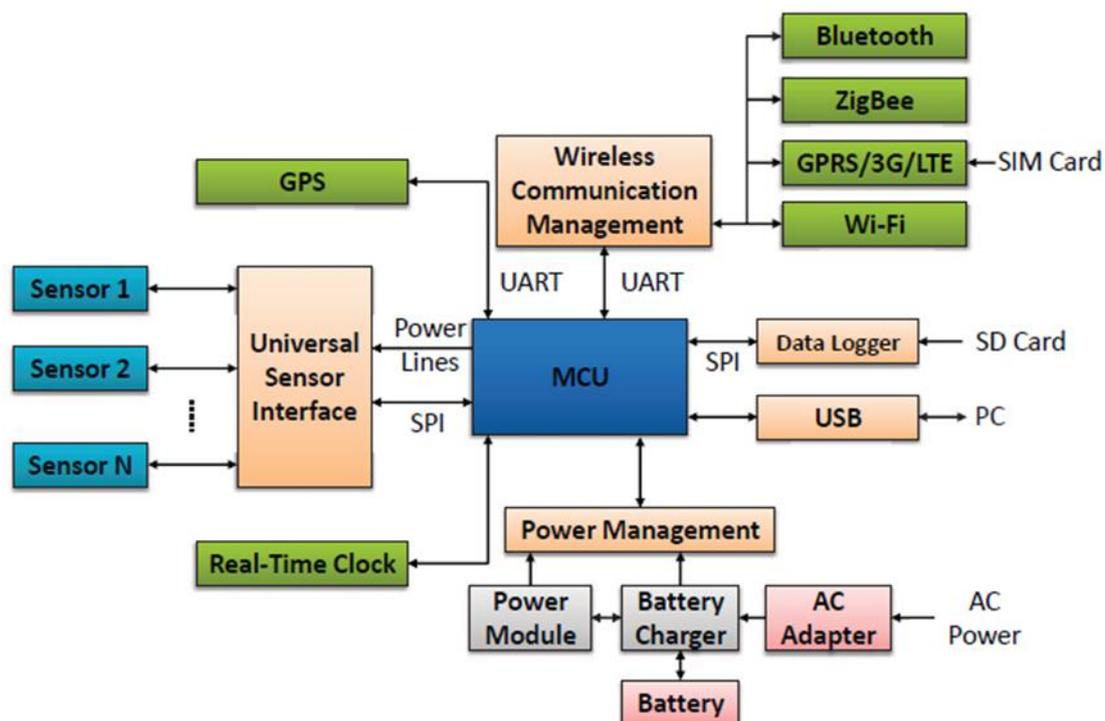
Apesar de não ser algo utilizado largamente e de carecer de vasto desenvolvimento, as RSSF já são citadas como passíveis de serem aplicadas em várias áreas. Logo, este item traz um apanhado de trabalhos, que mostram algumas das vastas possibilidades compreendidas a partir de uma RSSF.

Em (MILOJEVIC; BARRIA, 2017) o autor trata do monitoramento de ambientes urbanos, em microescala. Através de uma RSSF, onde os nós sensores têm características autônomas (ou seja, entendem a dinâmica da rede) e conversam entre si, é proposto um sistema descentralizado, que para sua validação, realiza o monitoramento da poluição do ar em uma área urbana.

Hoje em dia, a discussão gerada em torno do tema da poluição atmosférica tem chamado atenção. Resposta disso é que já se pode encontrar, com mais frequência, o monitoramento da poluição em micronível dentro de áreas urbanas. Porém, na maioria das vezes esse monitoramento é realizado com equipamentos arcaicos, sem a possibilidade de configuração e calibração adequadas, tanto em relação ao *Hardware* quanto ao *Software*. Assim, o trabalho de (YI et al., 2016)

objetivou o desenvolvimento de um Sistema de Sensores Modulares (SSM), que visa suprir as questões abordadas, por meio da proposta de *Interface Sensor Universal* (ISU), capaz de se adequar a vários tipos de rede, objetivando-se principalmente as RSSF. A Figura 8 ilustra a arquitetura do sistema proposto na referência (YI et al., 2016).

Figura 8. Arquitetura do nó sensor em um SSM.



Fonte: Adaptado de YI et al. (2016).

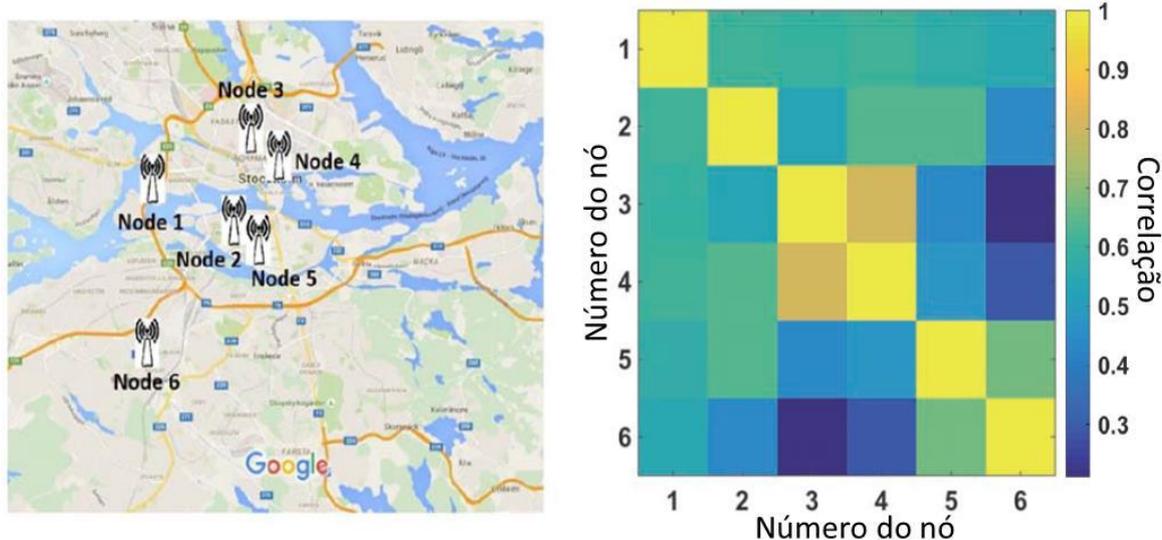
Na Figura 8, pode-se observar que cada sensor é conectado ao microcontrolador (*Micro Controller Unit* - MCU) através da ISU proposta. Vários sensores de borda também podem ser adaptados e configurados de forma dinâmica. Além disso, o protocolo SPI (*Serial Peripheral Interface*) permite a comunicação entre o MCU e sensores, para a formação da rede. Já para a otimização da energia, o MCU gerencia, através das linhas de energia (*Power Lines*), tanto a diminuição de seu uso, quanto a detecção a possíveis falhas, relacionadas à mesma. Outros componentes são os módulos de GPS (*Global Positioning System*) e de relógio em tempo real, utilizados para se obter a localização e sincronização das informações. O sistema também pode contar com vários módulos de comunicação para RSSF, ao exemplo de Bluetooth, ZigBee, GPRS, Wi-Fi, entre outros, o que garante a conectividade do sistema à outra rede. Por fim, um registrador de dados, uma porta USB e um sistema de energia

de bateria, são utilizados para a gravação de dados, depuração e provisão de energia, respectivamente.

A referência (LIU; XI; NGAI, 2016), além de propor uma RSSF para o monitoramento da poluição em áreas urbanas, também analisa o comportamento da rede nesse ambiente. O autor mostra que o problema de monitoramento em regiões urbanas, é que não se sabe, para efeito de uma simulação prévia, como será a operação da rede. Isso porque se forem colocados dois nós sensores com uma distância grande entre eles, em uma estrada, por exemplo, podem se comunicar melhor do que dois nós sensores muito próximos entre si, mas em uma área urbana, onde há construções, barreiras, superfícies reflexivas, entre outros.

Esse fato, trazido por (LIU; XI; NGAI, 2016) é calculado, por meio de equações de correlação. Após isso é demonstrado por um mapa com a localização dos nós sensores e por uma matriz de correlação, Figura 9 (a) e (b) respectivamente.

Figura 9. Exemplo da distribuição dos nós de uma RSSF para monitoramento da qualidade do ar urbano e a matriz de correlação escalonada em $\Delta t = 0$.



(a) Localização dos nós sensores.

(b) Matriz de correlação.

Fonte: Adaptado de LIU; XI; NGAI (2016).

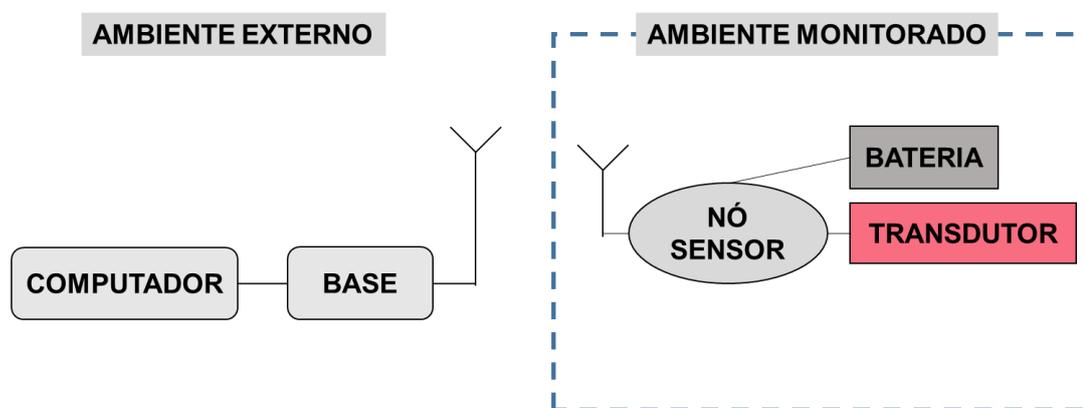
Tendo em vista que na matriz (b), da Figura 9, a partir da escala de cores, os recortes mais amarelados são os que apresentam maior correlação, e os mais azulados os que menos se correlacionam, se pode notar exatamente o que o autor expõe. Por exemplo, a correlação entre os nós dois e cinco e entre os nós dois e quatro é igual, sendo ambas as intersecções de mesma cor. Isso ocorre em um cenário em que, na Figura 9 (a), os nós dois e quatro estão longe um do outro e separados por águas, mas inseridos em uma superfície, aparentemente, de visada direta (o transmissor “enxerga” o receptor). Já o segundo par está a uma distância visual, muito menor que o primeiro, porém está incluído em uma área urbana. Dadas essas considerações, o autor sugere que um modelo de comunicação dentro do meio urbano, é muito mais complicado do que somente uma função em relação à distância espacial, mas sim em relação a inúmeras outras variáveis.

3 PROPOSTA

O presente trabalho propõe o projeto de uma RSSF, com uma ligação ponto a ponto, adequada que permita o monitoramento de grandezas relacionadas ao conforto ambiental.

Em primeira etapa a rede proposta objetiva a comunicação sem fio entre Base e nó sensor, com verificação da RSSI e coleta de medidas, temperatura e UR (Umidade Relativa), a partir de um transdutor conectado ao Nó sensor, Figura 10.

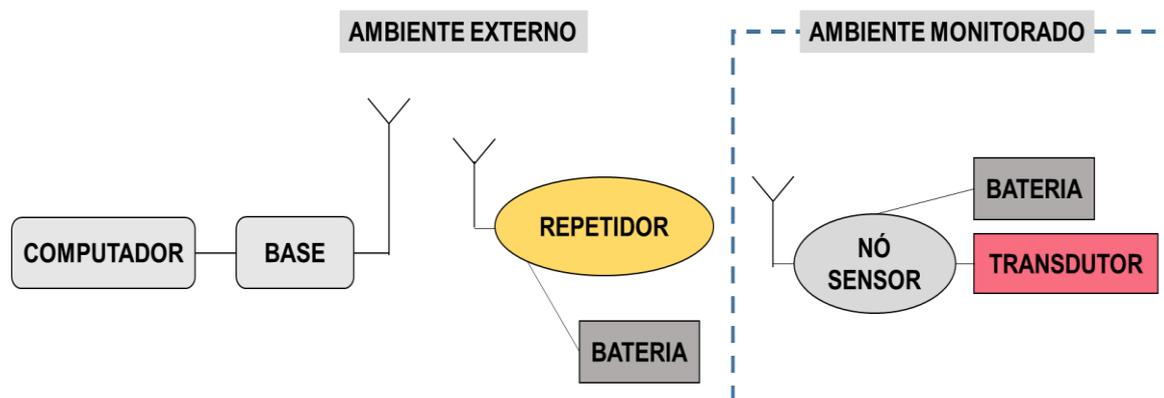
Figura 10. Cenário da primeira etapa da RSSF.



Fonte: autora (2017).

Já em uma segunda etapa, a proposta evolui para o desenvolvimento de uma RSSF, conforme Figura 11, que além da verificação da RSSI e coleta de medidas, também se preocupa com a cobertura do sinal de radiofrequência do ambiente que ocupa. Dessa forma, há a inserção de elementos que possam superar os obstáculos físicos presentes em um meio urbano, de tal forma que seja possível a cobertura de áreas com obstáculos de sinal de radiofrequência.

Figura 11. Cenário da segunda etapa da RSSF.



Fonte: autora (2017).

Como proposta a colocação de um repetidor vai garantir o funcionamento do sistema de monitoramento e possivelmente a medida de outras grandezas.

Para a verificação da proposta, torna-se importante a realização de prova de conceito, que mostre de fato a operação da rede e a evolução que se pode obter entre as respectivas propostas. Para isso será determinado a partir de pré-requisitos, o local pertinente para realização dos ensaios.

Este trabalho tem como foco construir uma rede sem fio, com dispositivos capazes de efetuar medições e as disponibilizar para seus interessados. O trabalho não entra no mérito de avaliação dos dados coletados pelos transdutores, somente os apresenta, sendo consideradas para análise a funcionalidade da rede, para atender os objetivos de medidas de grandezas, através das medidas de RSSI, a qual está diretamente ligada ao desempenho do enlace de radio.

Assim, para a realização deste trabalho foram consideradas, de forma macro, as seguintes atividades:

- Verificação de *Hardware* para a RSSF;
- Montagem de RSSF conforme primeira parte da proposta;
- Coleta de medidas de RSSI, temperatura e UR;
- Desenvolvimento de métodos, conforme segunda etapa da proposta;
- Coleta de medidas de RSSI, temperatura, UR e verificação da funcionalidade da RSSF.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados o material e os métodos utilizados para a realização do presente trabalho, identificando os elementos necessários para construção da RSSF e sua avaliação.

4.1 Base e Nó sensor

No contexto da comunicação em si, o elemento mais importante de uma base ou nó sensor é seu módulo de comunicação, ou seja, a parte que realmente será responsável pela transmissão e recepção das informações. Assim, embora se tenha uma enorme gama desses componentes, principalmente no mercado internacional, o presente trabalho utilizará o módulo BE900, tanto para a Base quanto para o Nó sensor, Figura 12 e Figura 13 respectivamente, que é um produto nacional (BARROS, 2014), certificado pela Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações), tendo como fabricante a empresa Radioit. (RADIOIT, 2017)

Figura 12. Foto da Base.



Fonte: autora (2017).

Figura 13. Foto do Nó sensor.



Fonte: RADIOIT (2017).

Assim como descrito em (RADIOIT, 2017), o BE900, é composto pelo processador AVR Atmega328 e o transceptor TI CC1101 RF, da Texas Instruments (CHAVES, 2016). O referido módulo possui um filtro passa-faixa que o deixa protegido de interferências fora da faixa, as quais podem provocar intermodulação, permitindo uma maior sensibilidade e menor interferência a ruídos externos, já que trabalha na banda não licenciada ISM (Industrial, Scientific & Medical), de 902-907,5 MHz e 915-928 MHz. Uma característica importante desse módulo é a de que possui modos de operação com baixo consumo de energia e possui um relógio de tempo real, com base em um cristal de 32 kHz. Suas dimensões são de 32,0 mm x 24,4 mm x 1,5 mm, e utiliza a modulação 2-FSK (*Frequency-shift keying*), podendo ser configurado com outra modulação.

Para acomodação e alimentação do BE900 no Nó sensor, Figura 13, foi utilizada a placa de desenvolvimento DK103 da empresa Radioit e para a Base, Figura 12, foi utilizado o módulo UART de programação, que possui saída micro USB, promovendo a conexão entre a Base e o computador (FARIA, 2015).

Para a obtenção da RSSI, o transceptor quando está em modo RX faz a medida do nível de potência recebida, fazendo o registro desse valor em números inteiros e após isso convertido em dBm. A condição para que essa medida aconteça, é a de que o nível de potência recebido seja maior do que a sensibilidade do transceptor, que neste caso é de -120 dBm para a frequência utilizada no presente trabalho, 915 MHz (INTRUMENTS, 2017).

Dessa forma, os ensaios deste trabalho, os quais mencionam que foi estabelecido um *link* de rádio entre Base e nó sensor, possuem as mesmas características no enlace. Considerando frequência de operação em 915 MHz, modulação FSK, taxa de 4,8 kbps e 10 dBm de potência. Os *Firmwares* para Base e Nó sensor, foram realizados e baixados nos *Hardwares* por meio da plataforma Radiuino utilizando IDE Arduino (ambiente de programação do Arduino, contendo biblioteca Radiuino) (ARDUINO, 2017).

4.2 Pacote, *Firmware* e código do Python

Para que seja estabelecido o *link* de rádio, entre Base e Nó sensor, além da configuração dos pacotes que irão trafegar na RSSF, os dois devem operar também, cada um uma rotina diferente, o que exige que seus *firmwares* também sejam diferentes. Outro elemento necessário, para que de fato ocorra a

comunicação, é o código executado no *software* Python. O método de funcionamento desses, para os #Ensaio 01, #Ensaio 02 e #Ensaio 03, será explicitada a seguir. A do #Ensaio 04, por contar com mais elementos, será exposta mais à frente.

4.2.1 Plataforma Radiuino e Pacote

Como já mencionado, a plataforma de programação utilizada no presente trabalho é o Radiuino. Apesar de existir em muitas opções internacionais, a plataforma escolhida se destaca por ser uma plataforma nacional, com código aberto (*open source*) para desenvolvimento de RSSF. Conforme BARROS (2014), ela tem um propósito semelhante ao da plataforma Arduino, a qual possibilita o desenvolvimento de aplicações, tanto em nível de aprendizado, quanto em nível profissional. As principais vantagens propostas pelo Radiuino são:

- Fácil utilização para desenvolvimento de rede de sensores;
- Permite configuração e adequação de todas as camadas da RSSF;
- Permite a personalização do *firmware* dos nós sensores, de acordo com a aplicação a ser realizada;
- É vantajoso para o orçamento do projeto, já que, é nacional e de código aberto.

A plataforma Radiuino é formada por uma pilha de protocolos, baseada no modelo TCP/IP, possuindo: Camada de Aplicação, onde é feito o tratamento das informações; Camada de Transporte, responsável por aspectos relacionados à transmissão, inclusive pacotes; Camada de Rede, responsável pela arquitetura da RSSF, promovendo o roteamento desta; Camada MAC, a qual realiza o controle de acesso ao meio e de energia e finalmente a camada Física, na qual são definidas características relacionadas ao meio de transmissão, como ajuste de canal e potência de operação (BARROS, 2014).

O pacote utilizado nessa plataforma possui 64 bytes, sendo 52 bytes de *payload*, em que cada posição tem sua função específica. A Figura 14 ilustra as divisões dos 64 bytes do pacote utilizado. O Preâmbulo é a sequência que indica o início da transmissão; o Sincronismo, como o próprio nome diz, realiza sincronismo com o receptor; Origem e Destino, utilizados na camada física, para identificar a origem e destino do pacote; *Payload* que é o espaço útil do pacote destinado às informações de coleta desejadas e CRC (*Cyclic Redundancy Check*

- CRC) para a checagem e redundância cíclica, que não foi utilizada nesse trabalho. (CARDOSO, 2015)

Figura 14. Divisão dos bytes do pacote.

Preâmbulo	Sincronismo	Origem	Destino	Payload	CRC
4 bytes	4 bytes	1 byte	1 byte	52 bytes	2 bytes

Fonte: CARDOSO (2015).

O mapeamento das posições de *payload* (52 bytes) as quais já são pré-determinadas podem ser vistas na Figura 15, sendo utilizadas no presente trabalho somente as seguintes:

- byte 0 e byte 2 para a RSSI de *downlink* e *uplink*, respectivamente;
- bytes 8, 9, 10 e 11 para inserção do ID (endereço) de destino e origem;
- bytes 16 e 17 para informações de temperatura e UR, a partir da leitura das entradas digitais AD0 e AD1.
- byte 12 para contagem de número de pacotes.

Figura 15. Mapa do pacote de 52 bytes.

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

Fonte: Adaptado de RADIUINO (2017).

4.2.2 *Firmware*

Sendo um *software* embarcado a ser gravado no módulo de comunicação, a fim de que haja o funcionamento da Base e do Nó sensor, os *firmwares* para cada um desses elementos se diferiram entre si.

O *firmware* da Base tem a função de permanecer “escutando” a interface serial, havendo requisição de pacote, transmite-o, e quando recebe um pacote verifica se realmente é para seu endereço, anexa ao pacote a medida de RSSI do transceptor e o direciona para a porta serial.

O *firmware* do Nó sensor tem a função de verificar se algum pacote de requisição chegou ao módulo de comunicação. Com a chegada do pacote, anexa as informações de RSSI do transceptor, ele executa comando e faz medidas. Para este trabalho, quando forem executadas medidas, serão de temperatura e UR, através do transdutor SHT75.

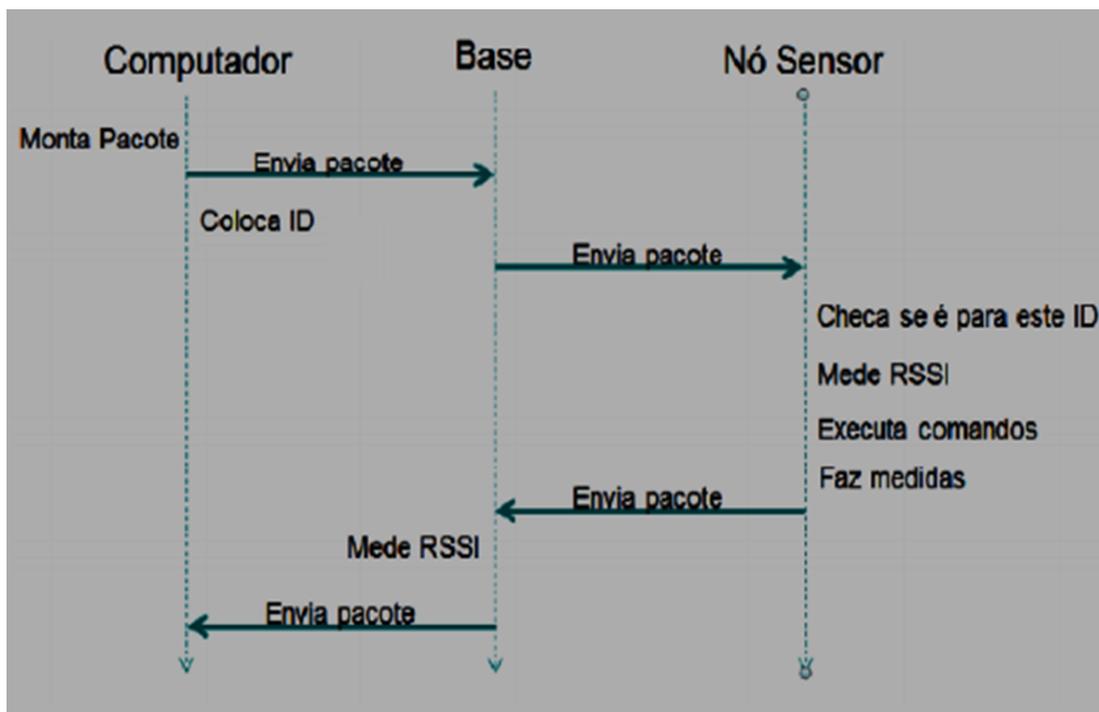
Lembrando que o endereço dos elementos da rede também se encontram registrados em seus respectivos *firmwares* em linguagem C, o que permite ao *software* de requisição operar de forma satisfatória.

4.2.3 **Código do Python**

O *software* de coleta de dados, programado na linguagem de programação Python, é executado no computador com ligação à Base via USB. A rotina desse código incluiu a construção de pacote de 52 bytes, envio deste para a serial (destinando-se à Base e após, ao Nó sensor), recepção do pacote enviado pela Base à serial, cálculo das RSSIs, tanto de *download* quanto de upload, aplicação de função as medidas de temperatura em UR coletadas e geração de arquivo de texto (.txt) com todas essas informações, para pós processamento.

Para melhor visualização cronológica, de como ocorre a cooperação das tarefas desenvolvidas entre Python (no Computador) e *Firmwares* (Base e Nó sensor), pode-se visualizar o diagrama temporal na Figura 16.

Figura 16. Diagrama temporal de tarefas doe Python (Computador), Base e Nó sensor.



Fonte: Adaptado de GOMES; NOVAES (2015).

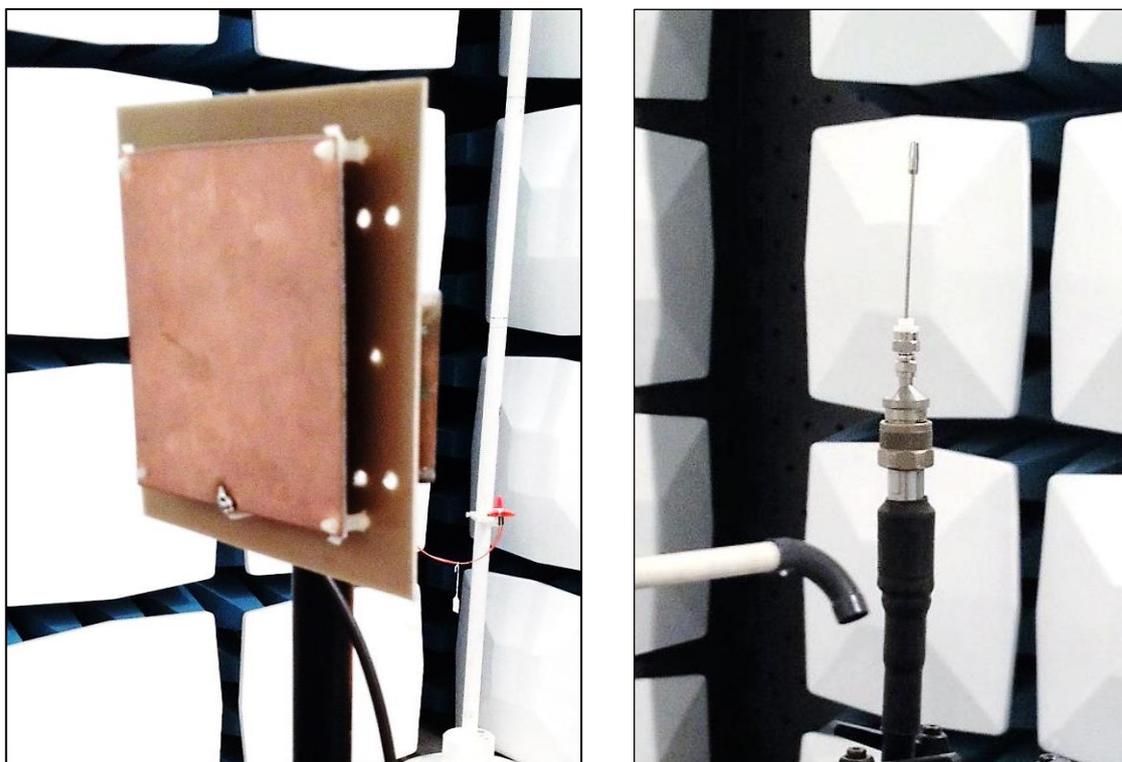
4.3 Ensaios realizados para validação de componentes

#Ensaio 01

O primeiro ensaio realizado foi o de verificação do comportamento da antena Setorial, que será utilizada na RSSF para a transmissão da Base ao Nó sensor. Para isso se utilizou o seguinte material:

- Base e Nó sensor;
- Antena *patch* setorial, Figura 17 (a), com ganho de 5 dBi, conectada ao Nó sensor, produzida artesanalmente por alunos da PUC Campinas, é utilizada para ensaios de laboratório e tem construção simples e barata, dado que é constituída basicamente por placas de cobre;
- Antena Omnidirecional com ganho de 3 dBi, Figura 17 (b), ligada à Base;
- Bateria de 12 Volts para a alimentação do Nó sensor;
- Câmara semi-aneecóica do Instituto de Pesquisas Eldorado (ELDORADO, 2017), fabricante Albatroz, utilizada para que não houvesse interferência externa ou de reflexão, no *link*.

Figura 17. Antenas utilizadas nos ensaios do trabalho.



(a) Antena Setorial.

(b) Antena Omnidirecional.

Fonte: autora (2017).

Para a realização deste ensaio, foi construído um “*setup*” de teste no interior da câmara semi-anecóica, constituído por um *link* de rádio, na faixa de 915 MHz, entre a Base e o Nó sensor. Para isso a Base ficou fixa em um ponto (Ponto A), a partir do qual foi conectada a um computador, a cabine externa à Câmara, através de um cabo USB. O computador utilizado continha o *software* de requisição dos dados medidos, construído na linguagem de programação Python, para a aquisição dos dados de RSSI (em dBm).

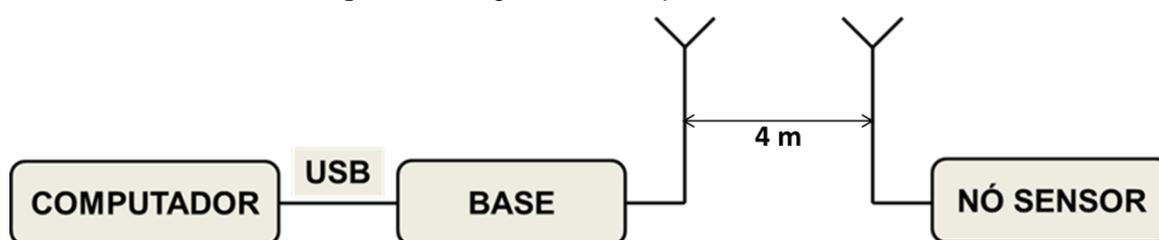
O tripé no qual foi fixado o nó sensor estava sobre uma plataforma da Câmara, afastada quatro metros da Base, a qual permite uma rotação de 360° em seu próprio eixo. Desta forma, o método de realização dos teste ocorreu da seguinte maneira:

- A antena setorial foi ligada ao nó sensor e a antena omnidirecional, ligada á base;
- Posicionamento das antenas, com uma distância de quatro metros entre as mesmas;

- A rotação da plataforma com a antena setorial foi de 0° a 360°, sendo obtida por 72 “passos” de 5°;
- A cada “passo” de 5° estabelecia-se um *link* entre base e nó sensor e a partir daí, ocorria a requisição de vinte medidas de RSSI. Tanto de downlink (da Base para o Nó sensor), quanto de uplink (do sensor para a Base).

O diagrama da Figura 18 mostra uma visão geral do *setup* do #Ensaio 01, com as indicações de seus elementos constituintes.

Figura 18. Diagrama do *setup* do #Ensaio 01.



Fonte: autora (2017).

Após a coleta de RSSI em 72 pontos da antena distribuídos, em 360°, ao seu redor, os dados que foram gerados em arquivos de texto, foram transferidos para o Excel, e as medidas que estavam em dBm foram normalizadas para dB. Logo após, foram organizadas graficamente, conforme será apresentado no Capítulo 5 deste trabalho.

A partir das medidas será estabelecido também o ângulo de meia potência da antena, que é a abertura efetiva da mesma, ou seja, em que ângulo a partir de 0° mede-se a potência que decresce de 3 dB, em cada sentido do diagrama (sentido horário e anti-horário).

Também será calculada a Relação Frente-Costas (RFC) da antena. Essa relação, conforme (TELECO, 2017) pode ser calculada por meio da Equação 3, e mostra a relação entre o lóbulo, do diagrama de radiação, que possui mais energia e o que possui menos energia.

$$RFC = P_m / P_{op} \quad (3)$$

Onde P_m é a energia máxima radiada, na direção de máxima potência de propagação, e P_{op} a energia radiada no sentido oposto de P_m .

#Ensaio 02

O segundo ensaio realizado foi o de verificação do comportamento do transdutor de temperatura, SHT75, e a possível necessidade de calibração do mesmo. Esse sensor será utilizado nos ensaios posteriores e por isso essa verificação se fez necessária. Para isso se utilizou o seguinte material:

- Dois sensores SHT75 (embora apenas um será utilizado no presente trabalho, havia a disponibilidade de material para validação), fabricados pela Sensirion, englobam os transdutores de temperatura e UR. O mesmo foi escolhido, pois, além de fornecer a possibilidade de coleta de duas grandezas em um mesmo encapsulamento, ter saída digital, também possui boa exatidão e resolução, conforme a Tabela 2 (OLIVEIRA, 2007).

Tabela 2. Principais características do sensor SHT75.

Características	Valores
Tensão de alimentação	2,4 a 5,5V
Interface serial	Wire - 2
Potência consumida	8mA a 5V
Faixa de operação (Umid.)	0 a 100%UR
Exatidão típica (Umid.)	$\pm 1,8\%$ UR
Resolução (Umid.)	0,03%UR
Faixa de operação (Temp.)	-40 a 123,8°C
Exatidão típica (Temp.)	$\pm 0,5^\circ\text{C}$
Resolução típica (Temp.)	0,01°C

Fonte: OLIVEIRA (2007).

- Câmara climática do Instituto de Pesquisas Eldorado, modelo WK 600, fabricante, Weisstechnik, Figura 19, a qual foi utilizada, para a criação de “cenários”, conforme valores ajustados, de temperatura e UR. Seu “range” é de -42°C a $+180^\circ\text{C}$ para temperatura e de 10% a 98% de UR, respectivamente (WEISSTECHNICH, 2017);
- Termohigrômetro, da marca TESTO, modelo TESTO 610. Esse equipamento possui um range de medição de -40°C a $+70^\circ\text{C}$ e de 0% a 100% para temperatura e UR, respectivamente (TESTO, 2017);
- Base e Nó sensor, com antenas Omnidirecionais com ganho de 3 dBi.

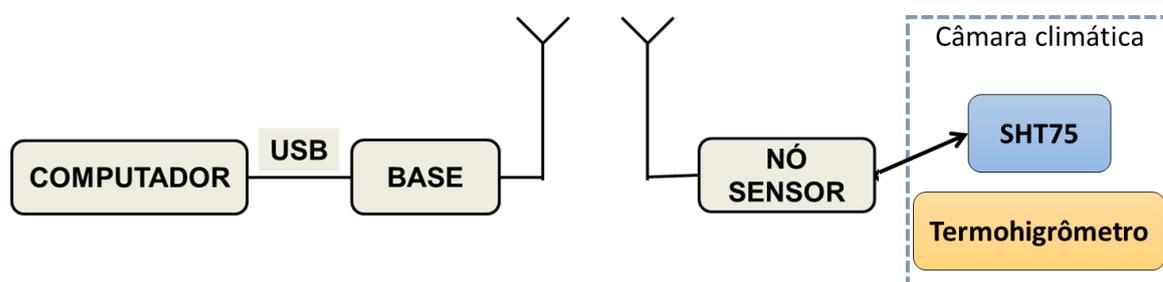
Figura 19. Foto da câmara climática, vista externa.



Fonte: autora (2017).

Para a realização deste ensaio foram colocados dois sensores SHT75 dentro da câmara climática e por um orifício de saída da mesma, os SHT75 foram ligados ao nó sensor, que por sua vez estabeleceu um *link* de rádio com a Base. Para a certificação e validação da estabilidade de temperatura e UR dentro da câmara, no ponto em que se encontravam os sensores, se colocou também o termohigrômetro. A Figura 20 mostra por meio do diagrama uma melhor visualização dos elementos presentes no teste.

Figura 20. Diagrama do *setup* do #Ensaio 02.



Fonte: autora (2017).

A verificação do sensor para medição de temperatura e UR, foi feita em duas etapas. Etapa 1 para a verificação da grandeza temperatura em graus célsius (°C) e Etapa 2 para verificação da UR. Os métodos utilizados em cada uma delas está de acordo com a norma ABNT NBR 14610:2000, intitulada de Indicador de Temperatura com Sensor – Calibração por comparação com

equipamento padrão (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2000). A seguir, tem-se a descrição da Etapa 1 e da Etapa 2:

Etapa 1:

- I. Determinação de temperaturas a serem avaliadas, de quinze (15 °C), vinte (20 °C), vinte e cinco (25 °C) e trinta graus Celsius (30 °C);
- II. Configuração de temperatura na câmara climática, para cada uma pré-determinada, separadamente;
- III. Espera de estabilização da temperatura da câmara climática, visível em seu próprio *display*;
- IV. Após a câmara climática ter atingido a temperatura estável, ocorreu a espera da estabilização da temperatura no termohigrômetro, no interior da câmara;
- V. Após a câmara e o termohigrômetro estarem com suas respectivas medidas térmicas estabilizadas, deu-se início às medidas de temperatura pelos sensores, através do *link* de rádio estabelecido;
- VI. Foram realizadas vinte medidas, para cada uma das cinco temperaturas pré-determinadas. Repetindo-se os passos anteriores, de II a IV, a cada nova medição.

Etapa 2:

- I. Determinação de URs a serem avaliadas, de vinte (20 %), cinquenta (50 %), sessenta (60 %), setenta (70 %) e oitenta por cento (80 %);
- II. Configuração de UR na câmara climática, para cada uma pré-determinada, separadamente;
- III. Espera de estabilização da UR da câmara climática, visível em seu próprio *display*;
- IV. Após a câmara climática ter atingido a UR estável, ocorreu a espera da estabilização da UR do termohigrômetro;
- V. Após a câmara e termohigrômetro estarem com suas respectivas medidas de UR estabilizadas, prossegue-se nas

medidas de UR pelos sensores, através do *link* de rádio estabelecido;

- VI. Foram realizadas vinte medidas, para cada uma das cinco UR pré-determinadas. Repetindo-se os passos anteriores, de II a IV, a cada nova medição.

4.4 Ensaios propostos para verificação da RSSF

Para a escolha do local de realização dos testes, #Ensaio 03 e #Ensaio 04, que atendesse a proposta do Capítulo 3, se determinaram-se alguns requisitos:

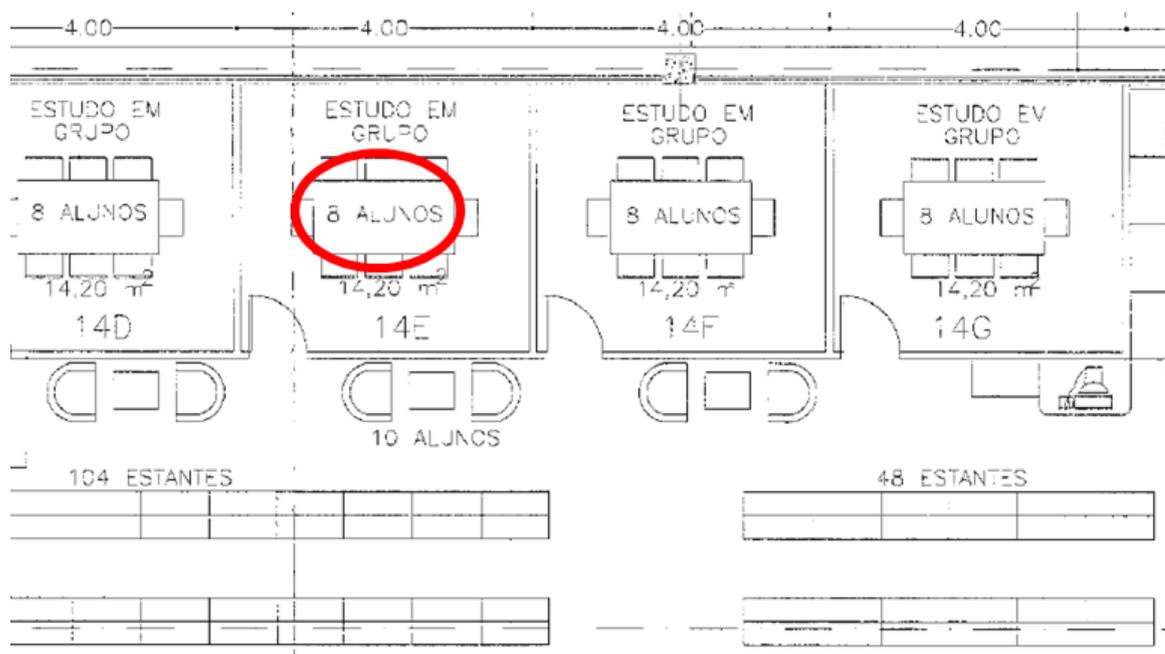
- O local deveria estar inserido em um contexto urbano;
- Deveria possuir em sua estrutura elementos que edificações inseridas em meio urbano, possuem;
- Ter movimentação de pessoas.

Os requisitos foram determinados para verificar o comportamento de uma RSSF inserida em um contexto urbano e detectar possíveis pontos de adaptação e melhoria para a mesma.

Desta forma, foi escolhido como local, o interior da Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Campinas - Campus 1 (PUCC 1).

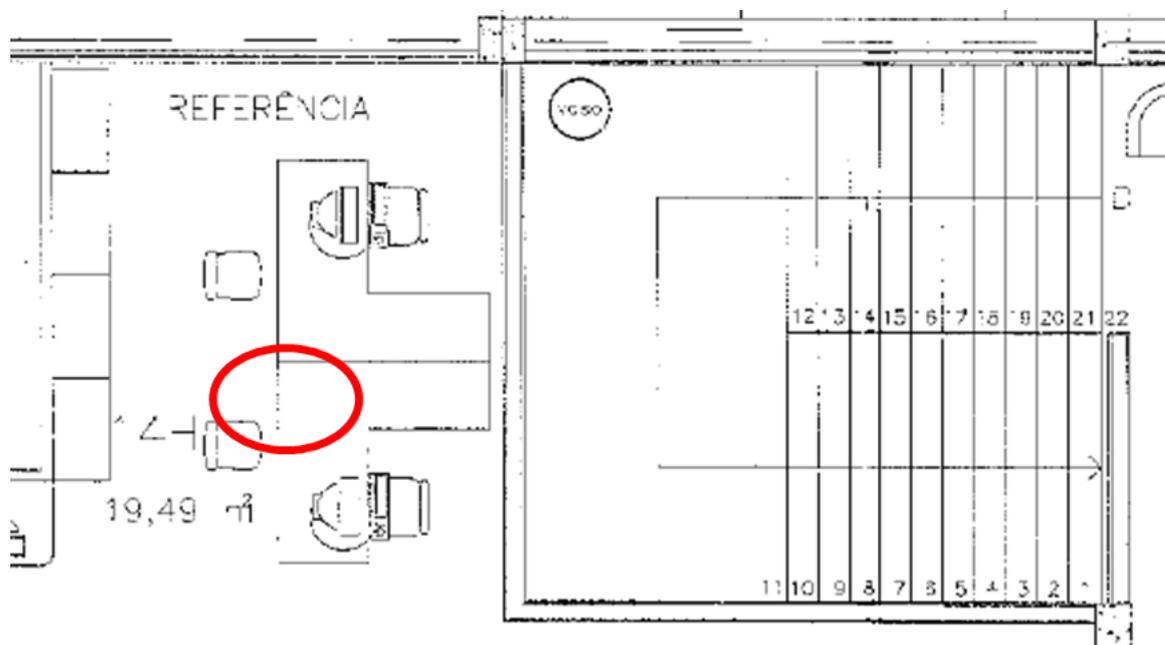
Os pontos na biblioteca, determinados para a realização das medidas foram escolhidos, novamente, de forma a atender os requisitos mencionados anteriormente. Ou seja, foram escolhidos os pontos que, ao seu redor, possuíam maior número de obstáculos. Por exemplo, estante de livros, paredes de concreto, divisórias de PVC, túneis de refrigeração, entre outros. Para visualização da planta baixa da biblioteca, bem como os pontos selecionados para coleta de medidas, vide Figura 21. Para uma visão micro de cada ponto, vide Figuras 22 a 28.

Figura 22. Localização do ponto B.



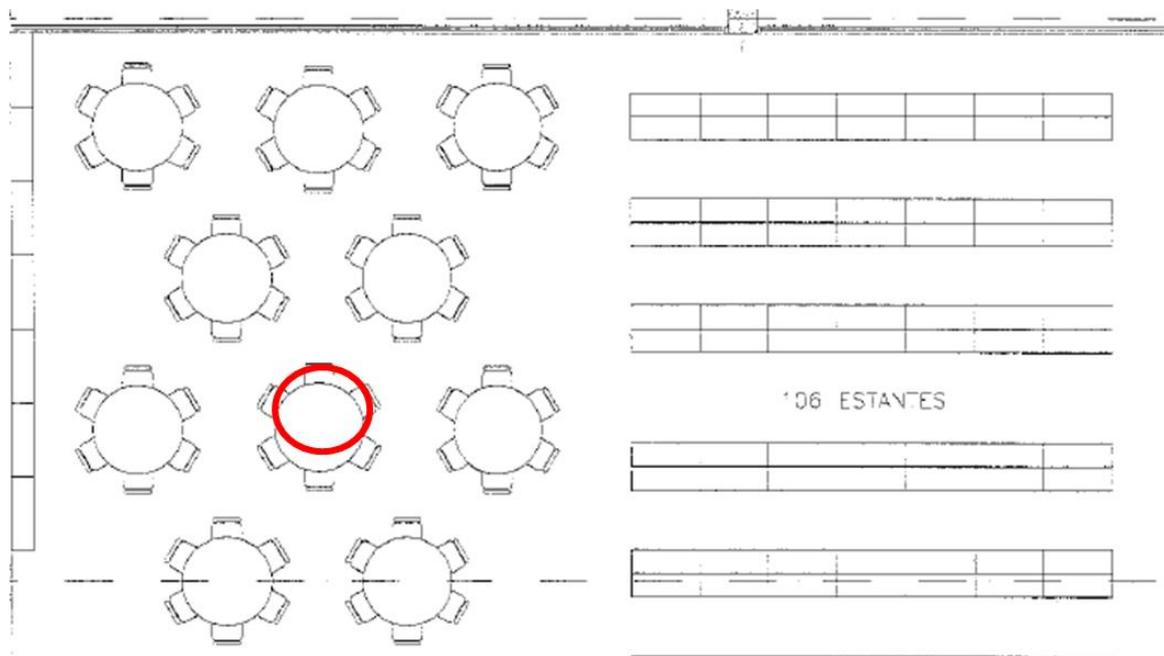
Fonte: Adaptado de arquivo da PUCC 1 (2017).

Figura 23. Localização do ponto C.



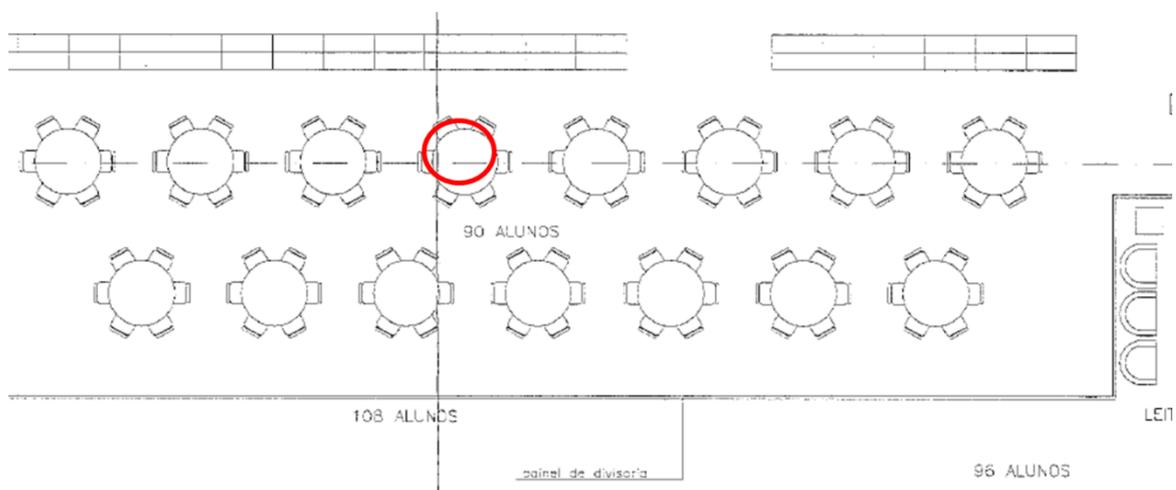
Fonte: Adaptado de arquivo da PUCC 1 (2017).

Figura 24. Localização do ponto D.



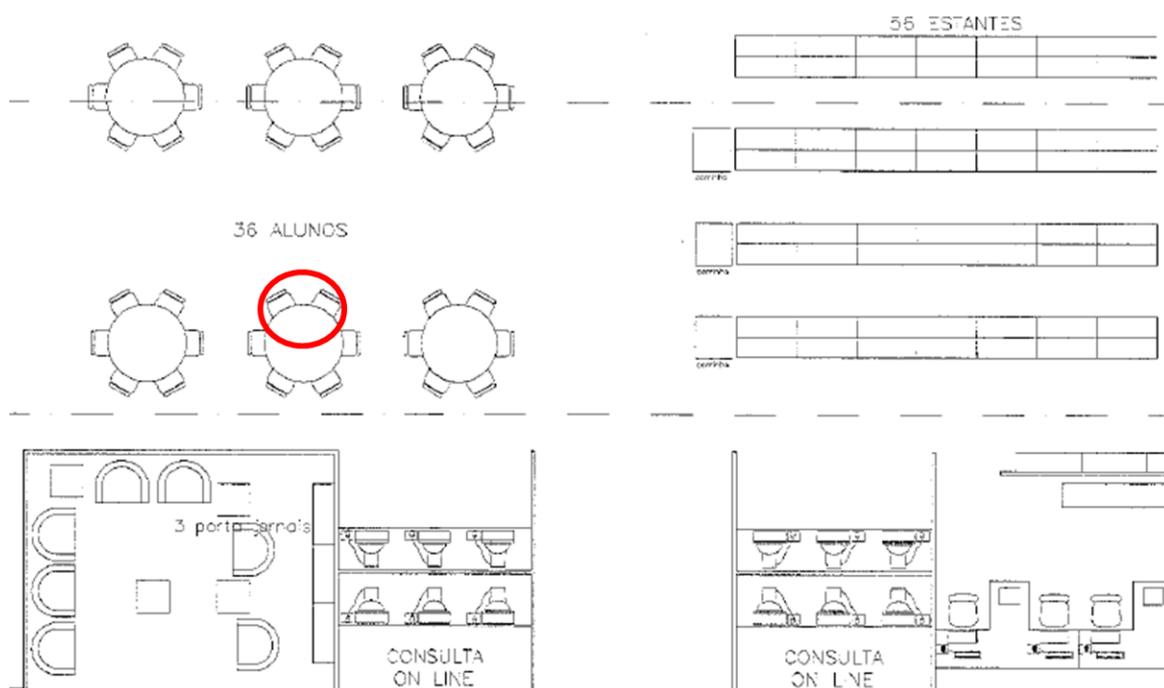
Fonte: Adaptado de arquivo da PUCC 1 (2017).

Figura 25. Localização do ponto E.



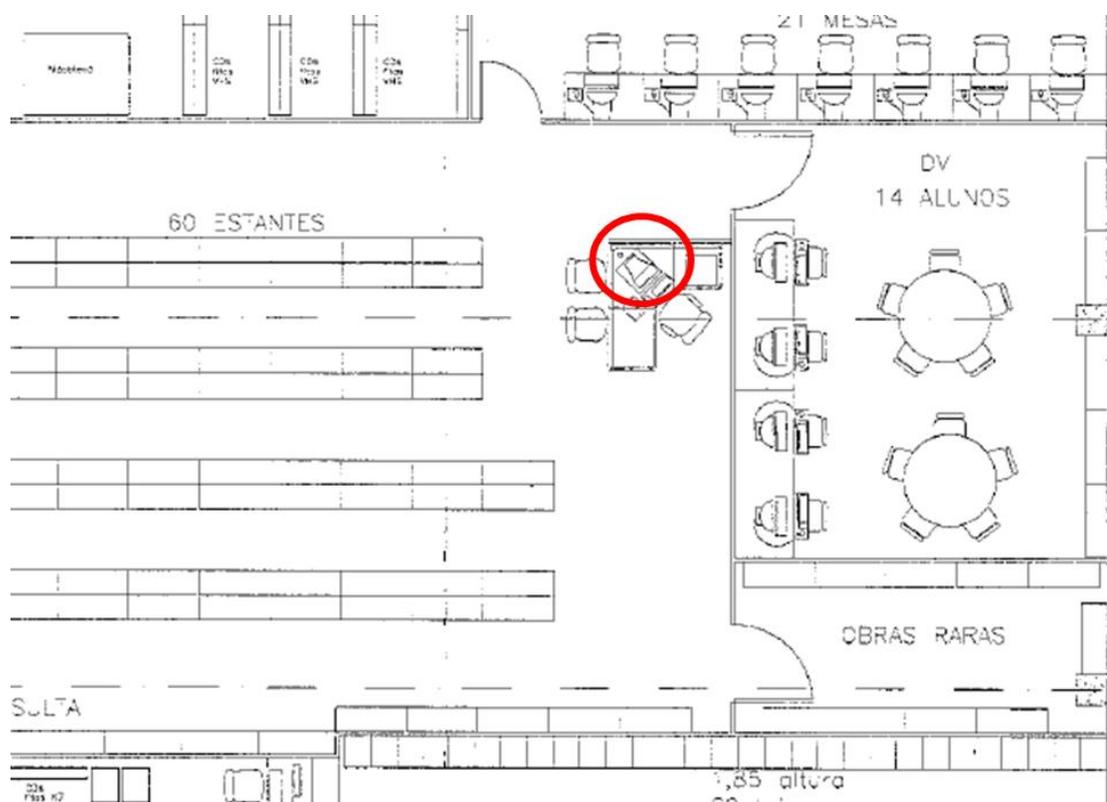
Fonte: Adaptado de arquivo da PUCC 1 (2017).

Figura 26. Localização do ponto F.



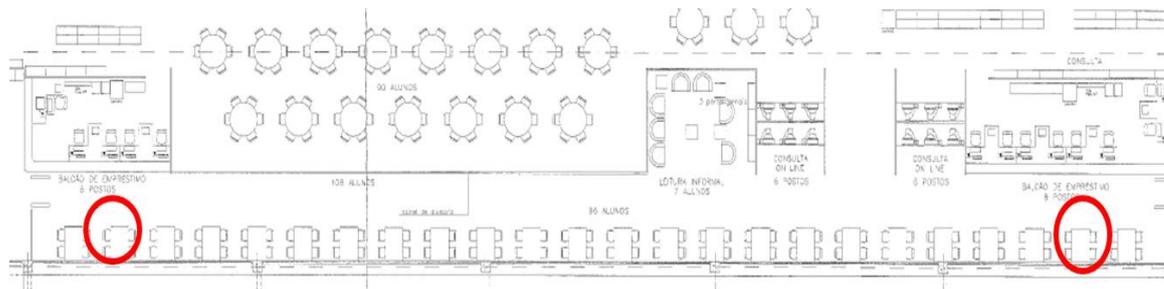
Fonte: Adaptado de arquivo da PUCC 1 (2017).

Figura 27. Localização do ponto G.



Fonte: Adaptado de arquivo da PUCC 1 (2017).

Figura 28. Localização dos pontos H e I, da esquerda para a direita, respectivamente.



Fonte: Adaptado de arquivo da PUCC 1 (2017).

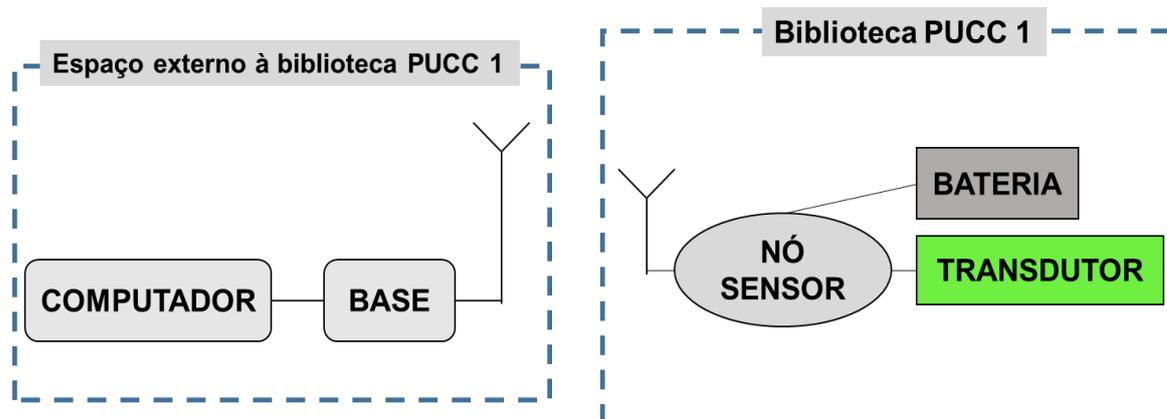
#Ensaio 03

O terceiro teste realizado objetivou a verificação da cobertura do sinal da RSSF aos pontos determinados de medição. Ou seja, conforme já citado no Capítulo 2 por (RASHID; REHMANI, 2016), as RSSF operando em meio urbano precisam ter caráter adaptativo. Logo, o #Ensaio 03 compreende a verificação de como a RSSF opera no ambiente escolhido.

Neste teste, foram coletados RSSI em dBm, temperatura em (°C) e UR em porcentagem (%), para todos os pontos. Lembrando que, apesar de se coletar também temperatura e UR, o método aplicado para o #Ensaio 03, não objetivou ser um método direcionado à avaliação da temperatura e UR em si, mas sim do sinal bem como sua intensidade (RSSI), pode se relacionar com a qualidade das medidas das grandezas. Outro propósito do método aplicado a este teste foi o de, a partir das medidas, propor melhor adequação à RSSF.

A RSSF foi constituída por uma Base e um Nó sensor, ambos com antena omnidirecional de 3 dBi, formando um *link* de rádio para comunicação. Conectado ao Nó sensor estava o sensor de temperatura e UR, SHT75. Para alimentação do Nó sensor foi utilizada uma bateria de 12 Volts, assim como mostra o diagrama da Figura 29.

Figura 29. Diagrama do *setup* de teste.



Fonte: autora (2017).

No que se refere aos métodos adotados para pacote, *firmware* e Python utilizados no #Ensaio 03, ela é a mesma relatada no Item 4.2 e em seus subitens.

Para a constituição física da RSSF, a Base ligada ao computador (contendo o código Python) foi alocada em ambiente externo à biblioteca, e permaneceu no local durante todo o teste. O Nó sensor, conectado ao SHT75 e alimentado pela bateria, foi deslocado a cada um dos pontos pré-determinados no interior da Biblioteca. Para tal deslocamento, foi utilizado o seguinte roteiro:

- I. Enquanto a Base já estava alocada em seu ponto (A), o Nó sensor foi direcionado ao ponto B;
- II. Assim as medidas se iniciaram, sendo feitas 20 medidas para cada ponto, com a taxa de uma medida por segundo;
- III. Finalizadas as medidas no ponto B, o *software* de requisição, finalizava a rotina e gerava o arquivo de texto, contendo as mesmas;
- IV. Deslocava-se então o mesmo Nó sensor para outro ponto, na sequência ponto C, e se iniciavam, novamente, as medidas;
- V. Assim, foi realizada essa rotina de testes repetidas vezes, até o ponto I.

No que se refere aos pontos de medições, pode-se visualizar melhor, como já mostrado anteriormente no início do Item 4.4, da Figura 22 à Figura 28. A visão que engloba biblioteca mais o ponto (externo a biblioteca) em que esteve fixa a Base durante o teste, encontra-se na Figura 30.

Figura 30. Foto de localização da Base durante o teste.



Fonte: Adaptado de GOOGLE (2017).

#Ensaio 04

Este ensaio teve como objetivo adicionar um novo elemento na RSSF, para que fosse possível distanciar a central de controle e de recepção dos dados (Computador e Base), do ambiente monitorado, neste caso a biblioteca. Esse ensaio procurou atender a necessidade, assim como mencionado no Capítulo 2 por (RJ, 2017), de se ter a centralização dos dados coletados em um local, que na maioria das vezes se distancia do local monitorado.

Para o alcance do objetivo mencionado, foi adicionado à RSSF o Repetidor, ou seja, um elemento que será posicionado em um ponto entre Base e Nó sensor, e irá encaminhar o pacote de *uplink* e/ou *downlink*.

Para isso, foram necessárias mudanças na estrutura física e lógica da rede, em comparação ao #Ensaio 03, as quais são descritas a seguir:

Hardware:

- A Base e o Nó sensor continuam sendo os mesmos fisicamente;
- O Repetidor é fisicamente idêntico ao Nó sensor, utilizando mesmo tipo de antena, omnidirecional com ganho de 3 dBi..

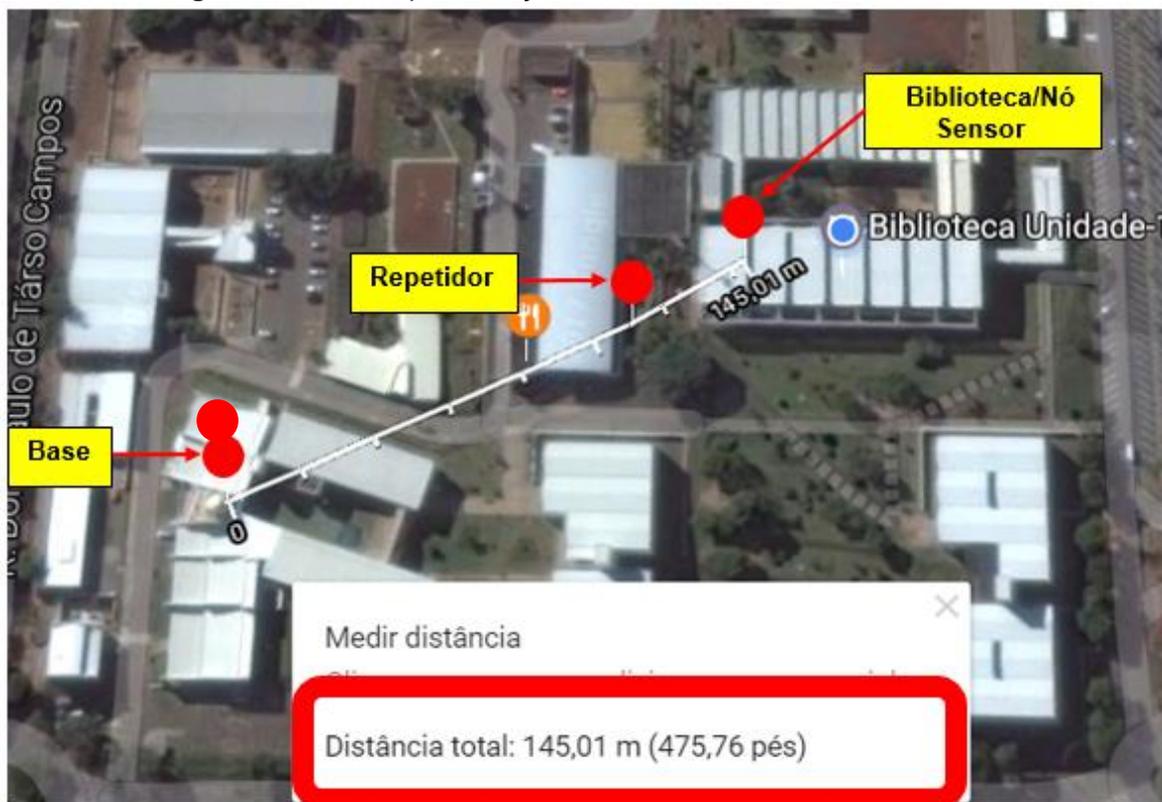
Software:

- Serão utilizados novos bytes do pacote para uma nova lógica de endereçamento;
- Os *firmwares* de Base, Nó sensor e Repetidor, foram desenvolvidos para atender o objetivo da rede;
- O *software* de requisição (em Python) sofreu alterações, em relação ao utilizado nos ensaios anteriores.

Disposição física dos elementos:

- A disponibilização física dos elementos da RSSF também diferiu do #Ensaio 03. Apesar dos pontos de medição no interior da biblioteca continuarem sendo os demarcados anteriormente, o Repetidor foi posicionado no ponto onde a Base permanecia fixa e a Base se distanciou 110,82 metros do Repetidor. De maneira geral, o Nó sensor continua no ambiente interno da biblioteca, enquanto Repetidor e Base ocupam pontos externos ao local de monitoramento. A visão de disponibilização dos elementos da rede pode ser vista na Figura 31.

Figura 31. Visão disponibilização dos elementos da RSSF #Ensaio 04.



Fonte: Adaptado de GOOGLE (2017).

De forma a possibilitar a construção e operação da RSSF proposta neste #Ensaio 04 houve, como já falado, modificações no *firmware* de Base e Nó sensor. No que se refere ao Repetidor, seu *firmware* foi construído somente com o intuito de fazer uma “ponte” entre Base e Nó Sensor, endereçando os pacotes de *downlink* e *uplink*. O método utilizada para que isso ocorresse, encontra-se descrita a seguir.

A evolução da lógica, anteriormente adotada no #Ensaio 3, contará com quatro bytes referentes a endereçamento, sendo esses (cada ponto de recepção ou transmissão do sinal será chamado aqui de nó):

- Byte 8: Endereço do nó destino do primeiro salto;
- Byte 9: Endereço do nó de destino final;
- Byte 10: Endereço do nó para o qual se está enviando o pacote;
- Byte 11: Endereço do destino final na volta do pacote.

Pode-se ver o recorte do código Python, onde foram adicionadas essas requisições de entrada, na Figura 32.

Figura 32. Recorte do código Python.

```
# Identificação da base e sensor
ID_repetidor = raw_input('ID_repetidor:')      #byte 8
ID_destino_ida = raw_input('ID_destino_ida:')  #byte 9
ID_base = raw_input('ID_base:')               #byte 10
ID_destino_volta = raw_input('ID_destino_volta:') #byte 11
```

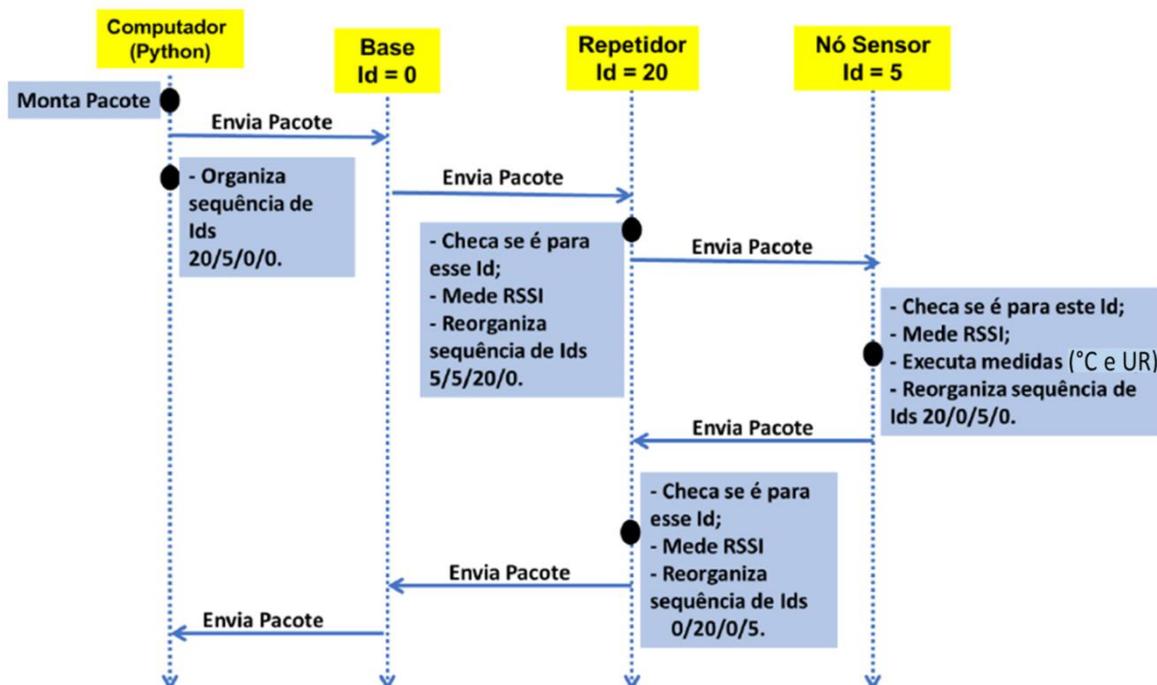
Fonte: autora (2017).

A sequência de atividades inseridas no código em Python e nos *firmwares*, além das já existentes, para inclusão do Repetidor à RSSF, foi:

- Inicialmente o Python requisita, além do número de medidas, a serem realizadas, também, os endereços iniciais para serem alocados nos bytes 8, 9, 10 e 11;
- Após isso, o pacote é transmitido e o papel de reorganizar o endereçamento, torna-se do Repetidor. O *firmware* do Repetidor foi adaptado para essa tarefa, com uma lógica da reorganização do endereço nos respectivos bytes, de acordo com os endereços de entrada iniciais;
- Quando o pacote é recebido pelo Nó sensor, seu *firmware* se encarrega da reorganização, novamente, dos endereços nos bytes do pacote e após a execução das medidas, o mesmo transmite o pacote para o Repetidor e esse para a base.

A Figura 33 mostra por meio de um diagrama temporal, a forma como de fato ocorreu, essa dinâmica de endereçamento, na Base, Repetidor e Nó sensor. Sendo utilizados para isso, realmente os endereços (IDs) determinados para os elementos neste #Ensaio 04. Id_{Base}: 0; Id_{Repetidor}: 20 e Id_{Nó_sensor}: 5.

Figura 33. Diagrama temporal dos métodos aplicados ao #Ensaio 04.



Fonte: autora (2017).

Nota-se a partir do diagrama da Figura 33, que além da coleta das grandezas de temperatura e UR, serão coletadas ainda, não só duas, mas quatro medidas de RSSI. Sendo assim, cada trecho da RSSF terá dados sobre sua respectiva intensidade de sinal.

No que se refere ao código do *software* de requisição, APÊNDICE A, e aos códigos dos *firmwares* de Base, Nó sensor e Repetidor, esses foram realizados a partir do #Ensaio 01 e não foram descartados, mas sim, evoluíram para a versão final do #Ensaio 04.

5 RESULTADOS

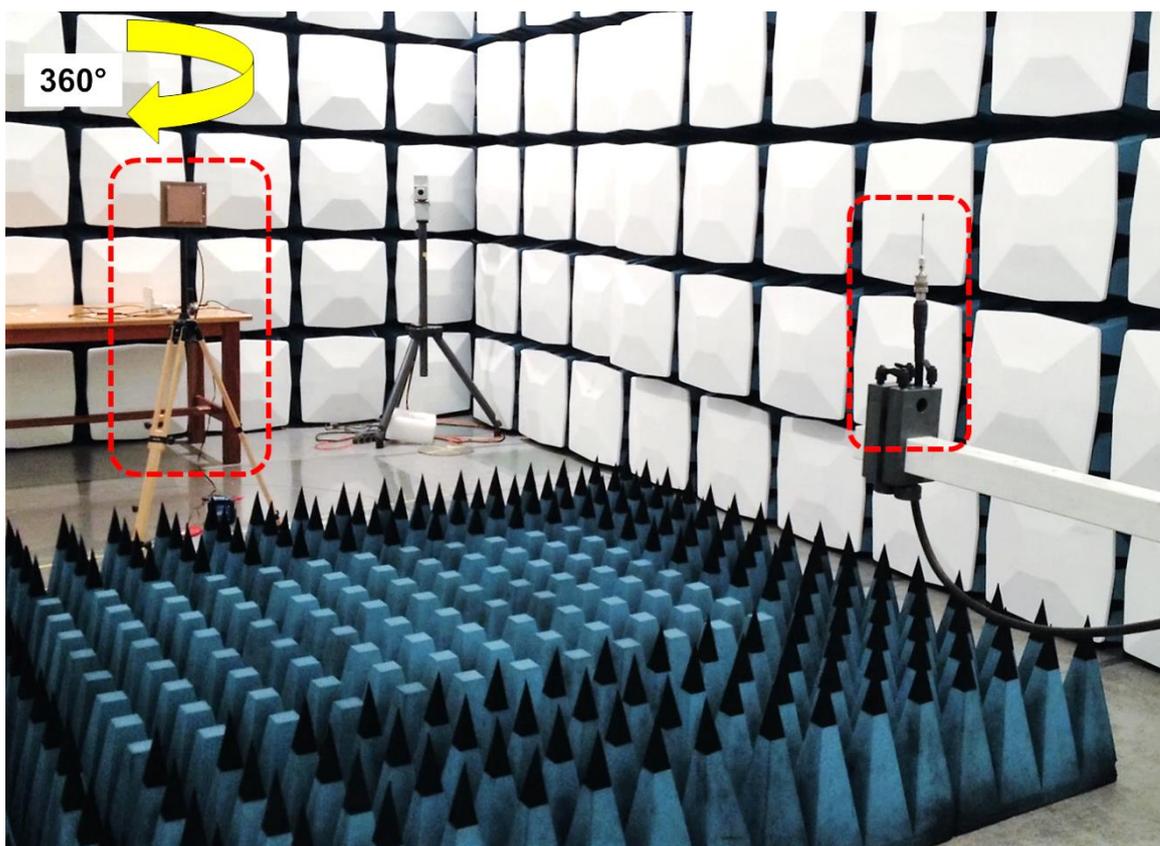
Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir do material e dos métodos descritos no Capítulo 4, do presente trabalho. Esses resultados estarão dispostos em forma de tópicos, ou seja, resultados do #Ensaio 01, #Ensaio 02, #Ensaio 03 e #Ensaio 04, para que haja uma melhor visualização da sequência cronológica das atividades.

5.1 Resultados dos ensaios de validação de componentes

#Ensaio 01

O primeiro ensaio realizado foi o de verificação do comportamento da antena Setorial, utilizada na RSSF nos #Ensaio 03 e #Ensaio 04. O *setup* montado pode ser visualizado na Figura 34.

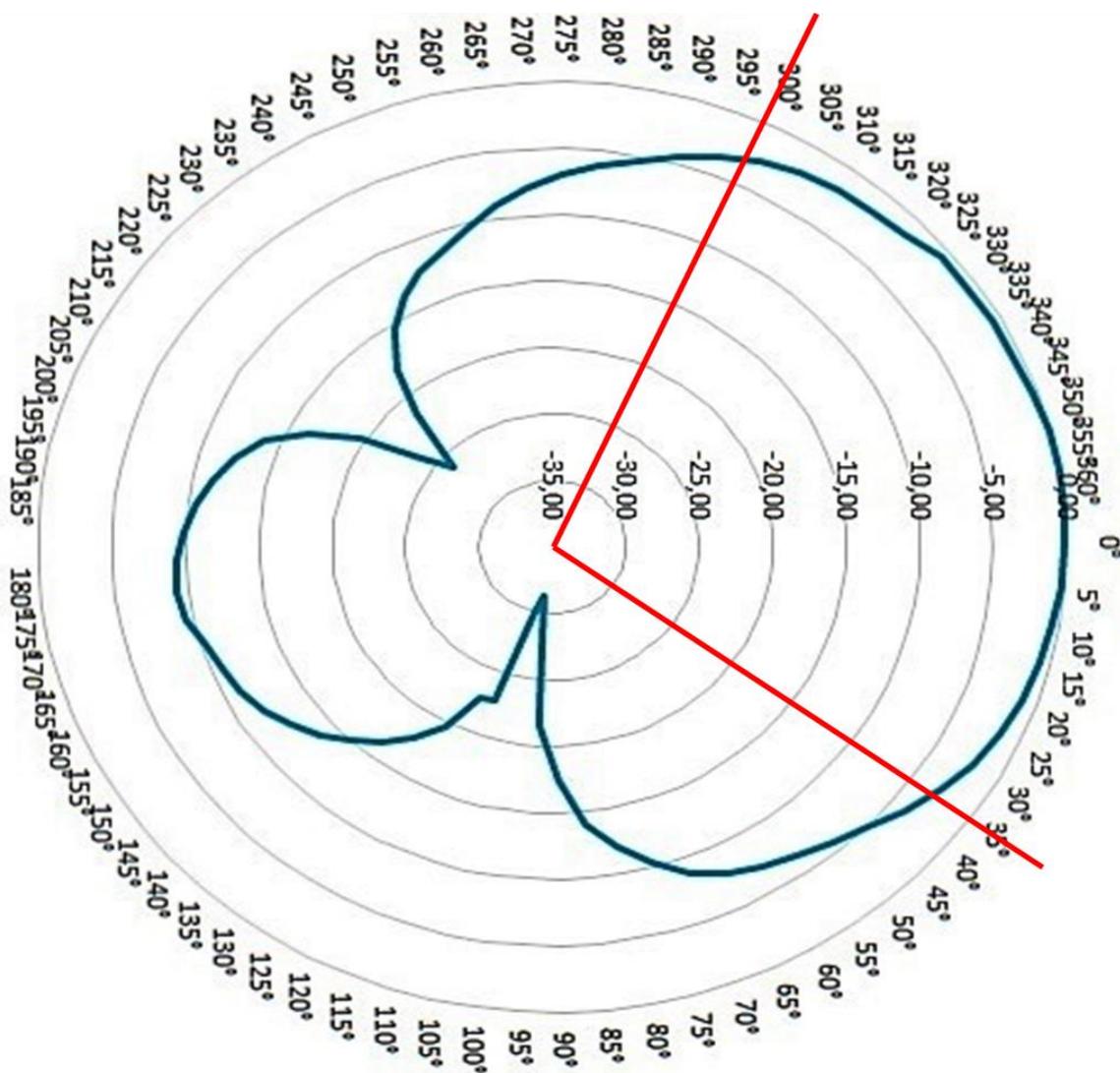
Figura 34. Foto do *setup* do #Ensaio 01.



Fonte: autora (2017).

Como resultado das medidas do ensaio, foi obtido graficamente o diagrama de radiação horizontal da antena, em dB versus graus da rotação, conforme Figura 35.

Figura 35. Diagrama de radiação da antena setorial (dB e graus de rotação).



Fonte: autora (2017).

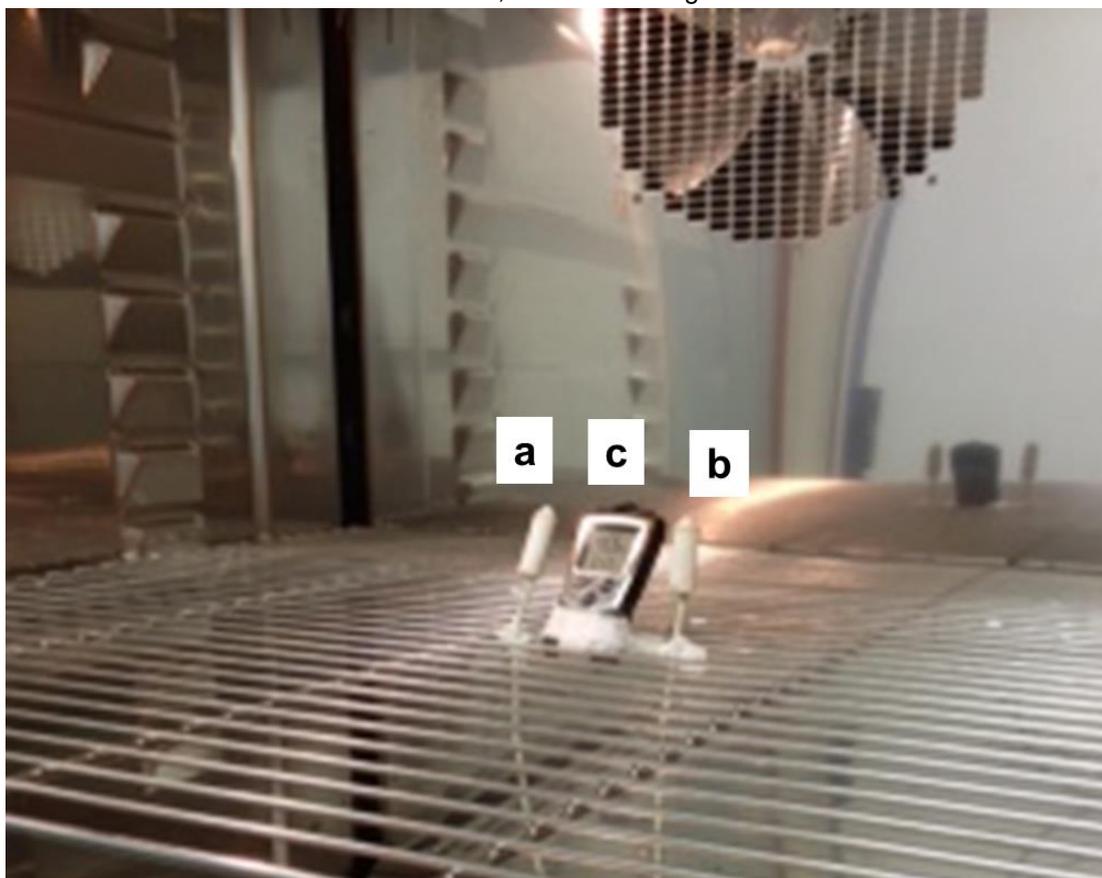
Também foi determinado, conforme linha vermelha, no Diagrama da Figura 2, o ângulo de meia potência da antena, que é de 95°, e sua Relação Frente / Costas, que foi de aproximadamente 9 dB.

Os resultados do teste mostram que a antena escolhida atende as características que devem ser cumpridas pelo seu tipo específico, Setorial, ao passo que seu ganho é direcional a uma dada região. Ela também se mostra vantajosa em termos de custo, comparada às disponíveis no mercado, já que é de construção e materiais simples.

#Ensaio 02

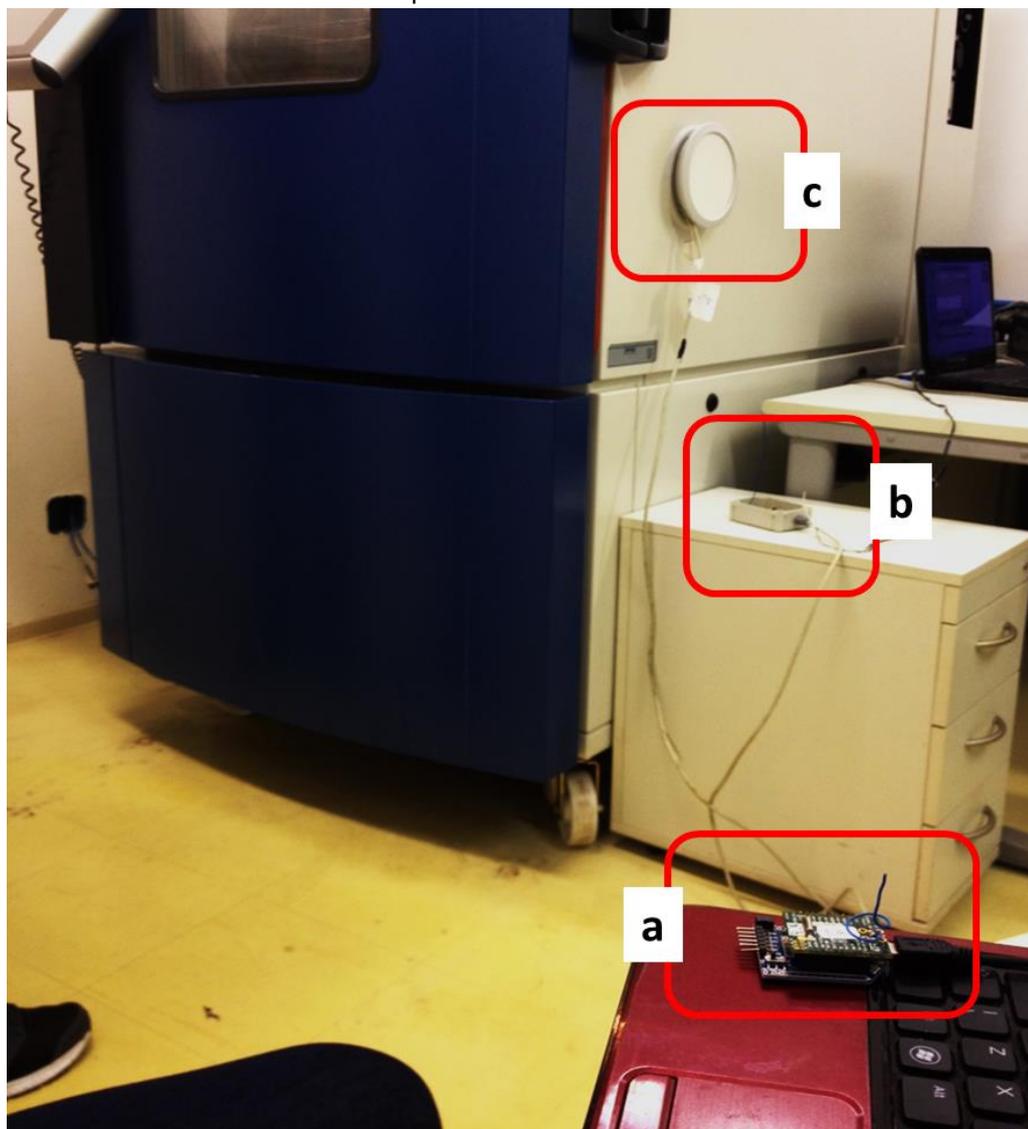
O segundo ensaio realizado foi o de verificação do comportamento do transdutor de temperatura, modelo SHT75, e a possível necessidade de calibração do mesmo. Para isso, conforme métodos previamente apresentados, no Capítulo 4, foi montado o *setup* de medidas. A Figura 36 mostra a foto do *setup* no interior da câmara climática, já a Figura 37, mostra o *setup* externo à câmara, para coleta das medidas.

Figura 36. Foto de vista interna da câmara climática, em que **a** e **b** se referem aos transdutores, modelo SHT75, e **c** ao termohigrômetro.



Fonte: autora (2017).

Figura 37. *Link* de rádio entre Base e Nó sensor com SHT75, onde **a** se refere à Base, **b** ao Nó sensor e **c** ao orifício para conexão entre nó sensor e SHT75.



Fonte: autora (2017).

Os resultados obtidos pelas medidas, de temperatura e UR, na câmara climática, bem como os valores marcados pelo termohigrômetro, estão descritos nas Tabela 3 e Tabela 4, respectivamente.

Tabela 3. Medidas de temperatura

Temperatura - Termohigrômetro (°C)	Sensor 1 (°C)	Sensor 2 (°C)
15,00	15,09	15,26
20,00	20,16	20,50
25,00	25,04	25,41
30,00	29,85	30,17
35,00	34,84	35,25

Fonte: autora (2017).

Tabela 4. Medidas de UR.

UR - Termohigrômetro (%)	Sensor 1 (%)	Sensor 2 (%)
20,70	25,22	24,80
47,50	53,30	53,16
58,40	62,52	62,21
70,10	73,34	73,26
88,20	88,63	88,88

Fonte: autora (2017).

A Tabela 3 e a Tabela 4 demonstram que os sensores tiveram variações, no que se refere às medidas estabilizadas no termohigrômetro. Assim a partir dessas medidas, é possível, se fazer a correção, se necessário, das medidas coletadas, que no presente trabalho, não foi feita, pois a exatidão das medidas de temperatura e UR não serão discutidas.

5.2 Ensaios propostos para verificação da RSSF

#Ensaio 03

O #Ensaio 03 obteve a montagem de uma RSSF, composta por Base e Nó sensor, o qual se deslocou por diversos pontos, como mostram as Figuras de 38 a 44. Já a Base que se manteve fixa do lado externo da Biblioteca pode ser visualizada na Figura 45. Um adendo para melhor visualização dos resultados é o de que em cada Figura a seguir, a Base encontra-se sempre ao lado direito da planta baixa da biblioteca (a qual é mostrada no detalhe da foto).

Figura 38. Nó sensor no ponto B.



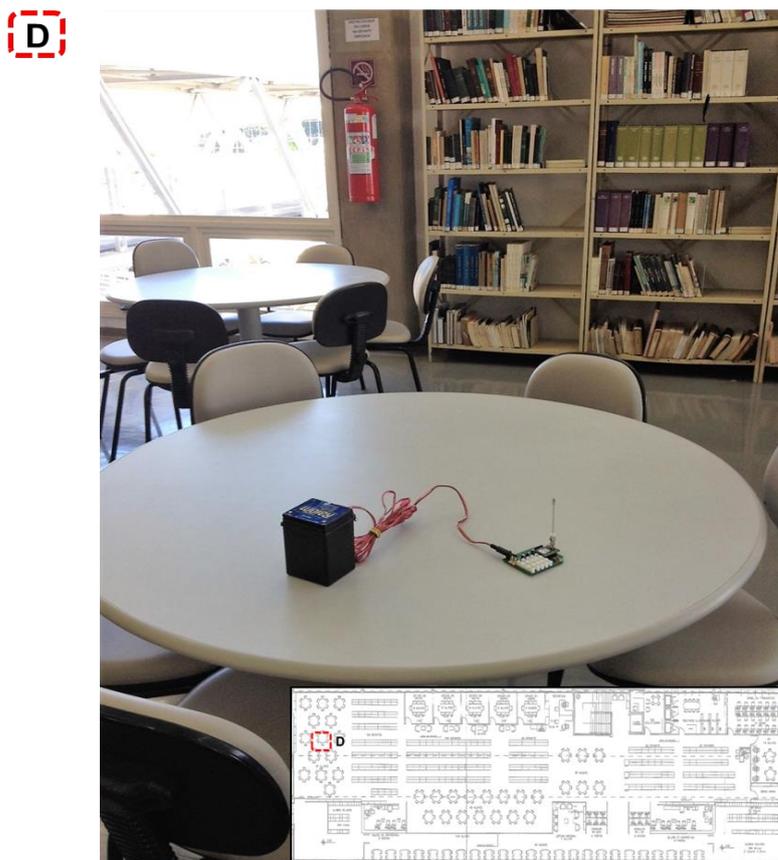
Fonte: autora (2017).

Figura 39. Nó sensor no ponto C.



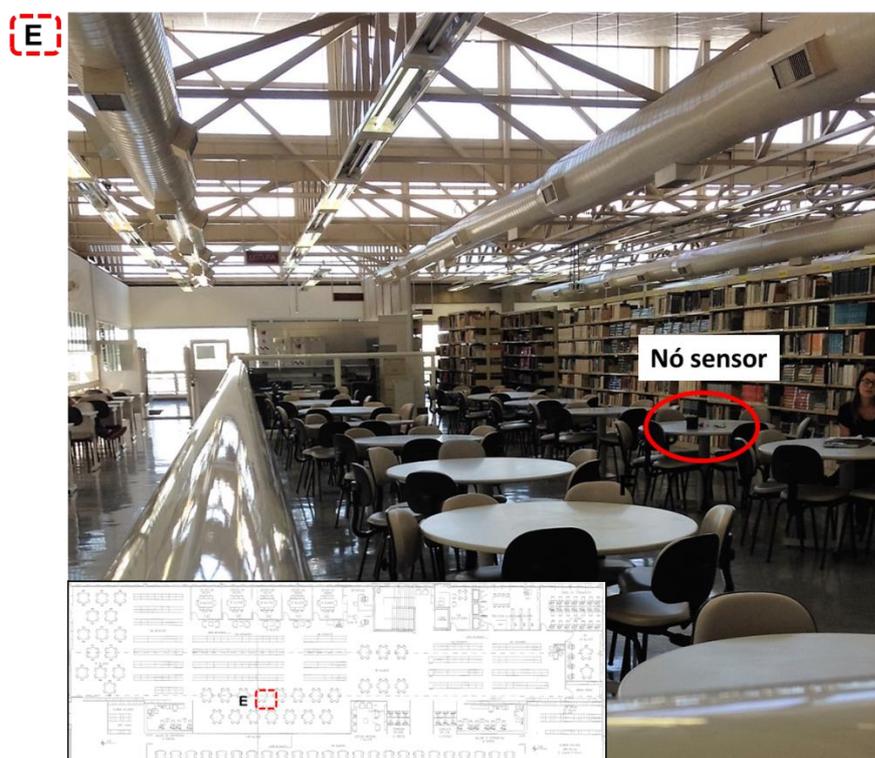
Fonte: autora (2017).

Figura 40. Nó sensor no ponto D.



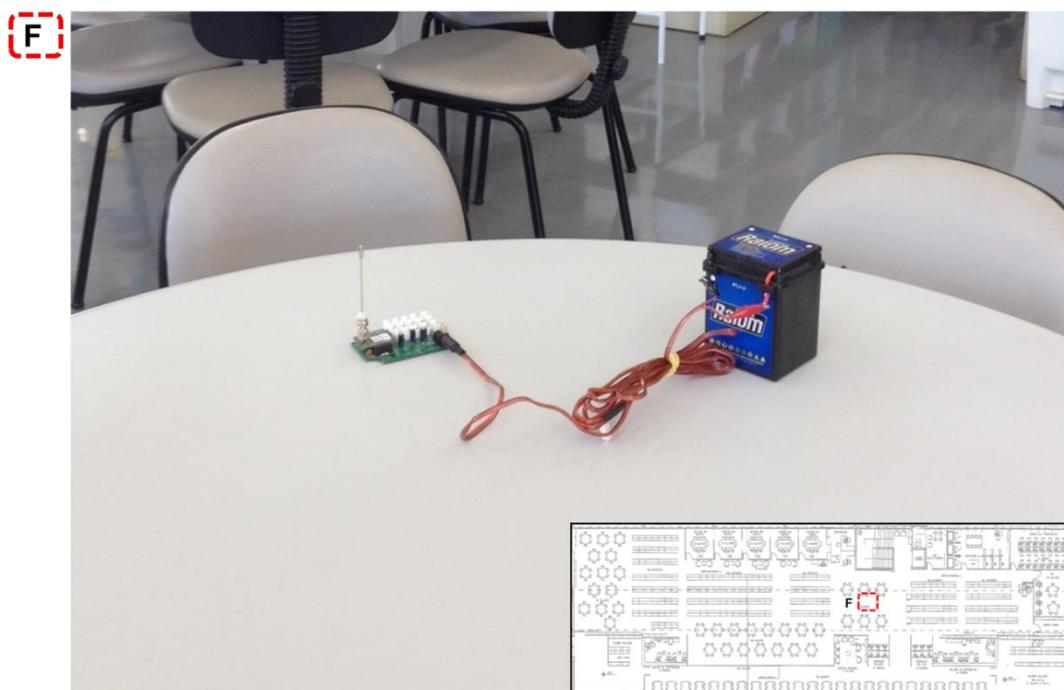
Fonte: autora (2017).

Figura 41. Nó sensor no ponto E.



Fonte: autora (2017).

Figura 42. Nó sensor no ponto F.



Fonte: autora (2017).

Figura 43. Nó sensor no ponto G.



Fonte: autora (2017).

Figura 44. Nó sensor nos pontos H e posteriormente no ponto I.

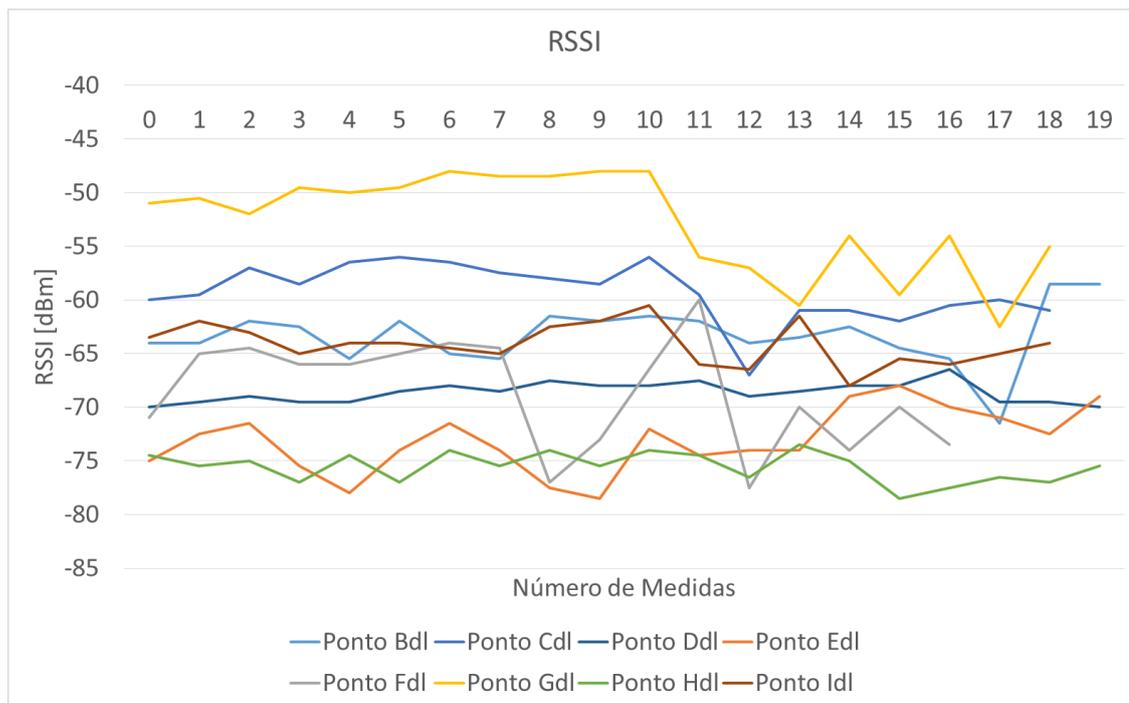


Figura 45. Base fixa na parte externa da biblioteca.



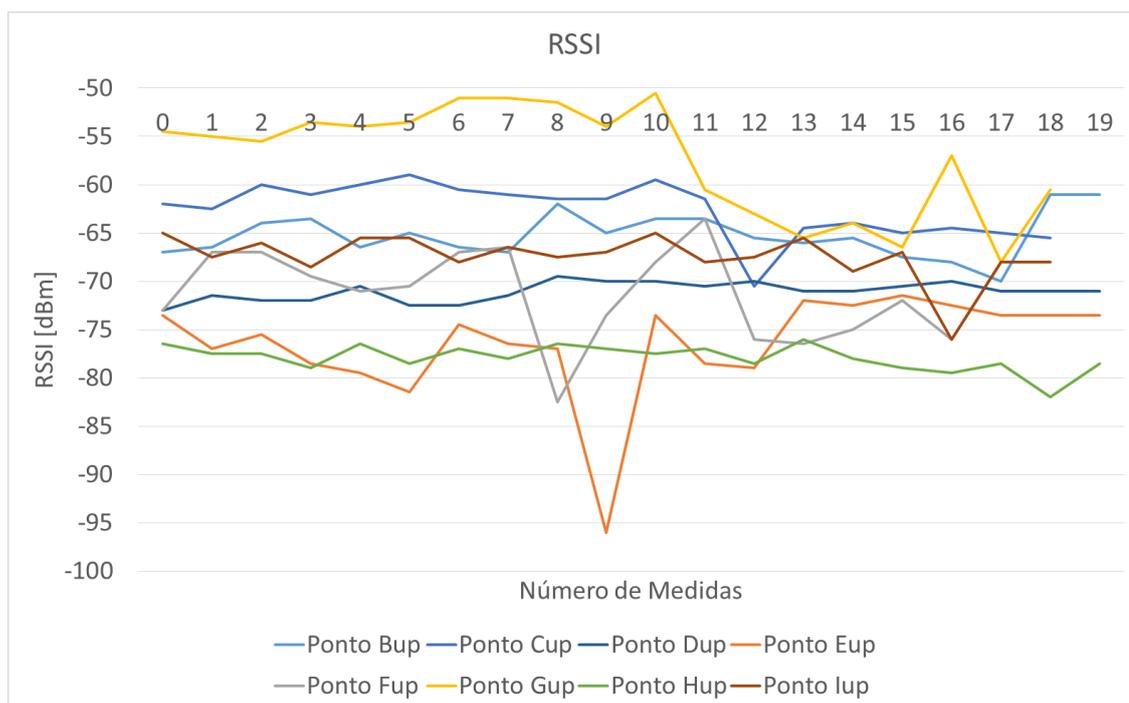
A partir dos dados coletados, de RSSI (dBm), temperatura (°C) e UR (%), construiu-se os gráficos ilustrados pela Figura 46 (RSSI de *downlink*, da Base para o Nó sensor), Figura 47 (RSSI de *uplink*, do Nó sensor para a Base), Figura 48 (Medidas de temperatura em °C) e Figura 49 (Medidas de UR em %).

Figura 46. Gráfico Número de medidas versus RSSI *downlink* (dBm).

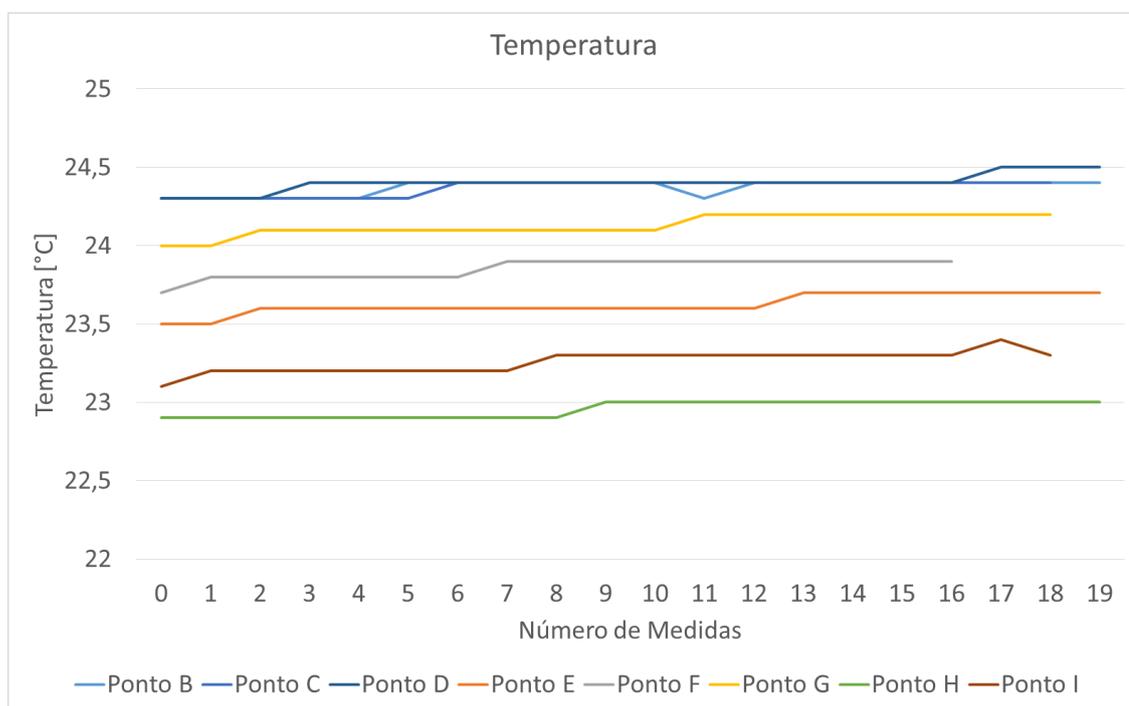


Fonte: autora (2017).

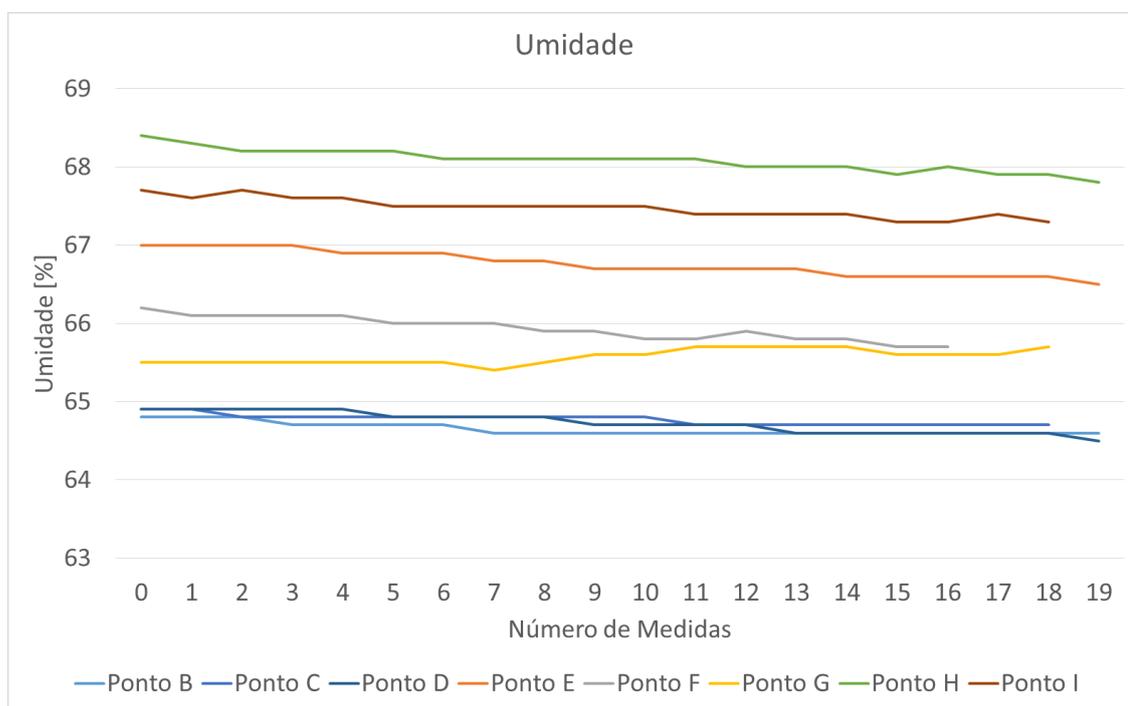
Figura 47. Gráfico Número de medidas versus RSSI *uplink* (dBm).



Fonte: autora (2017).

Figura 48. Gráfico Número de medidas versus temperatura (°C).

Fonte: autora (2017).

Figura 49. Gráfico Número de medidas versus UR (%).

Fonte: autora (2017).

As medidas de RSSI disponibilizadas no gráfico da Figura 46 e no da Figura 47, mostram o comportamento do sinal, no que se refere a sua intensidade. Os picos de mínimo e máximo de RSSI, referente a cada ponto de medição, podem ser visualizados na Tabela 5:

Tabela 5. Valores máximos e mínimos de RSSI em dBm.

Ponto	Mín. RSSId	Mín. RSSlu	Máx. RSSId	Máx. RSSlu
B	- 71,5	- 70,0	- 58,5	- 61,0
C	- 67,0	- 70,5	- 56,0	- 59,0
D	- 70,0	- 73,0	- 69,5	- 69,5
E	- 78,5	- 96,0	- 68,0	- 71,5
F	- 77,5	- 82,5	- 60,0	- 63,5
G	- 62,5	- 68,0	- 48,0	- 50,5
H	- 78,5	- 82,0	- 73,5	- 76,0
I	- 68,0	- 76,0	- 60,5	- 65,0
Geral	- 78,5	- 96,0	- 48,0	- 50,5

Fonte: autora (2017).

Nota-se que o ponto E teve a maior atenuação, tanto na RSSI de *downlink*, quanto na RSSI de *uplink* conforme mostram as células preenchidas em vermelho, da Tabela 5, embora não tenha apresentado perda de pacotes. Já o ponto G teve a menor atenuação, como mostram as células verdes da mesma tabela.

Relacionando esses resultados ao mapeamento dos pontos, verificou-se que o ponto G é o que está mais próximo à Base, contendo como obstáculo apenas uma parede de concreto. Já o ponto E não é o mais distante da Base, porém o que mais tem obstáculos ao seu redor. Além da parede de concreto, possui estantes repletas de livros e divisórias de PVC. O que permite verificar a atenuação que um obstáculo pode causar à RSSF.

Para os gráficos de temperatura e UR, Figura 48 e 49, foram obtidos o comportamento de cada uma das grandezas, as quais não tiveram muitas variações, o que já era esperado para tais medidas, que foram realizadas em intervalos de tempo curtos (um segundo).

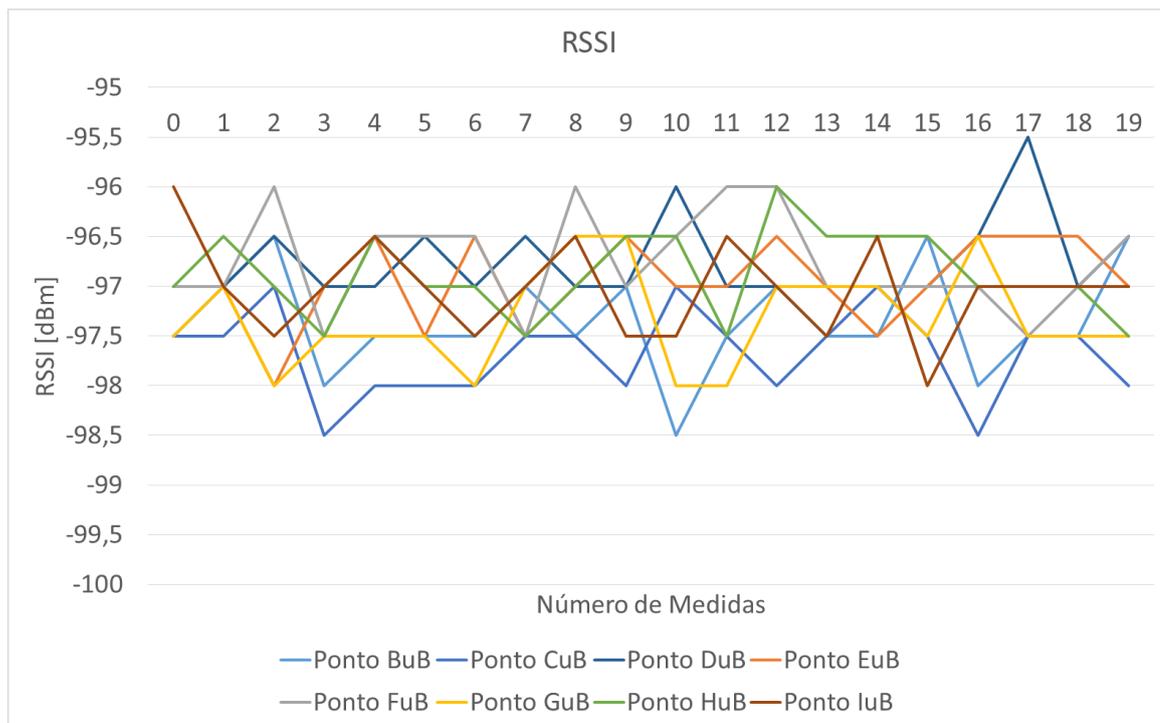
Os gráficos permitem mostrar que apesar da variação da RSSI nos pontos medidos, não houve perda de pacotes nas medidas por conta desse fator. Desta forma, verifica-se que foi possível a construção da rede proposta em primeira etapa, para a coleta de medidas das RSSI e das grandezas temperatura e UR.

#Ensaio 04

A partir deste ensaio, que adicionou à RSSF o Repetidor, construiu-se os gráficos ilustrados pela Figura 50 (RSSI de *downlink* na ida, da Base para o

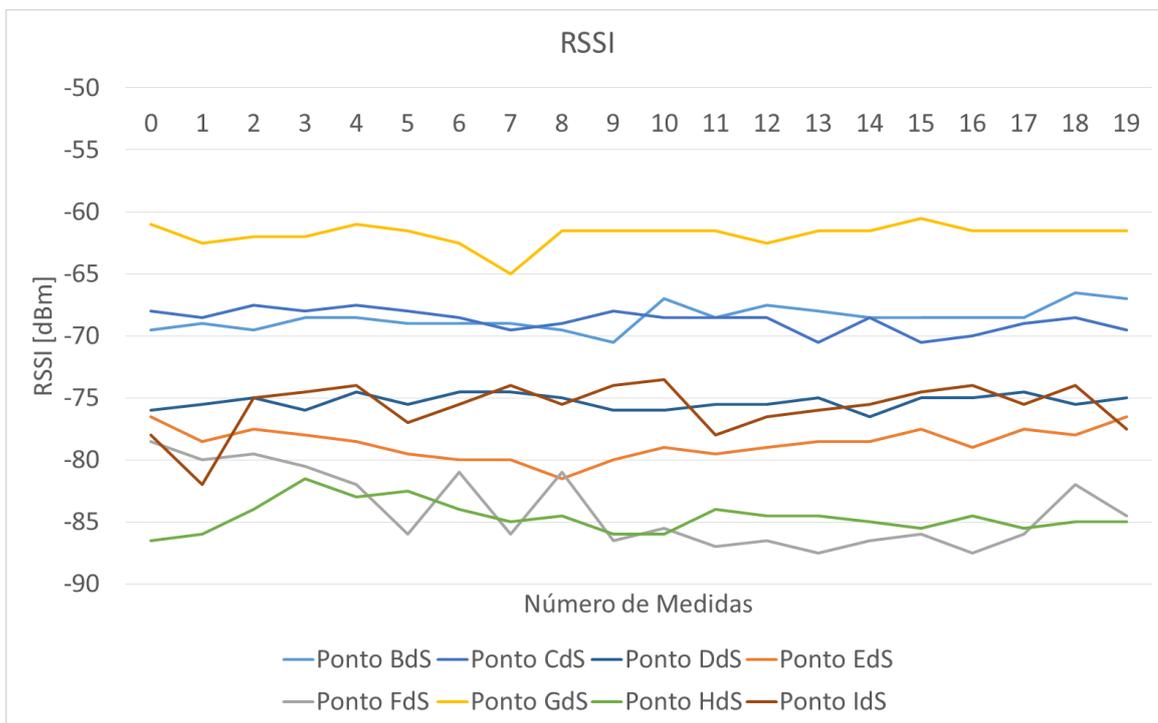
Repetidor), Figura 51 (RSSI de *downlink*, do Repetidor para o Nó sensor), Figura 52 (RSSI de *uplink na volta*, do Nó sensor para o Repetidor) e Figura 53 (RSSI de *uplink*, do Repetidor para a Base), Figura 54 (Medidas de temperatura em °C) e Figura 55 (Medidas de UR em %).

Figura 50. Gráfico de medidas da RSSI no Repetidor, na ida.



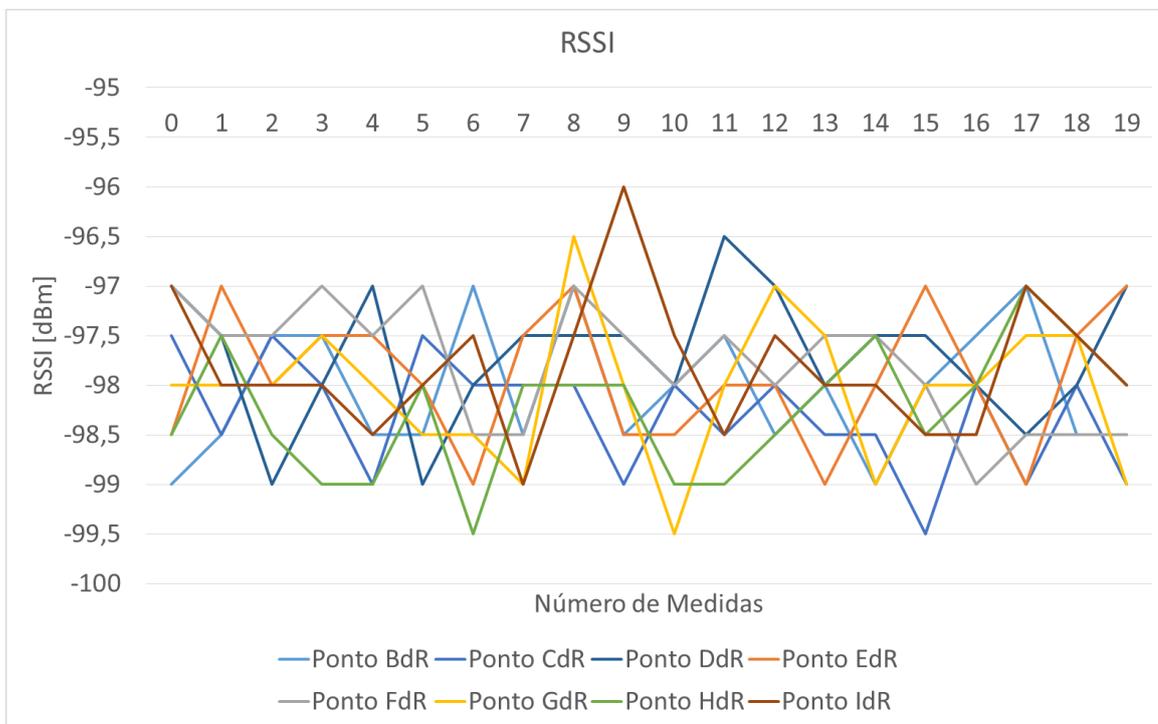
Fonte: autora (2017).

Figura 51. Gráfico de medidas da RSSI no Nó sensor, em cada ponto de coleta.



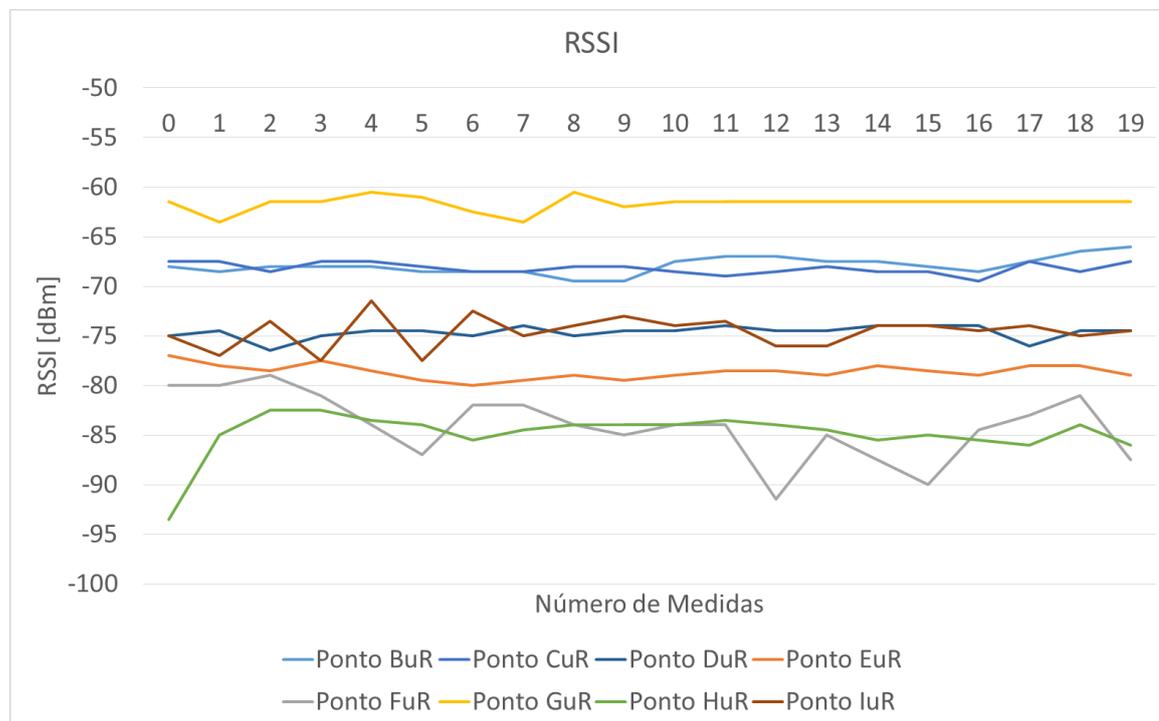
Fonte: autora (2017).

Figura 52. Gráfico de medidas da RSSI no Repetidor, na volta.



Fonte: autora (2017).

Figura 53. Gráfico de medidas da RSSI na Base.



Fonte: autora (2017).

As medidas de RSSI disponibilizadas nos gráficos da Figura 50, Figura 51, Figura 52 e Figura 53, mostram o comportamento do sinal, no que se refere à sua intensidade. Os picos de mínimo e máximo de RSSI, referente a cada ponto de medição, podem ser visualizados na Tabela 6:

Tabela 6. Valores máximos e mínimos de RSSI em dBm.

Ponto	Mín. RSSIuB	Mín. RSSIdS	Mín. RSSIdR	Mín. RSSIuR	Máx. RSSIuB	Máx. RSSIdS	Máx. RSSIdR	Máx. RSSIuR
B	-98,5	-70,5	-99,0	-69,5	-96,5	-66,5	-97,0	-66,0
C	-98,5	-70,5	-99,0	-69,5	-96,5	-66,5	-97,0	-66,0
D	-98,5	-70,5	-99,5	-69,5	-97,0	-67,5	-97,5	-67,5
E	-98,0	-81,5	-99,0	-80,0	-96,5	-76,5	-97,0	-77,0
F	-97,5	-87,5	-99,0	-91,5	-96,0	-78,5	-97,0	-79,0
G	-98,0	-65,0	-99,5	-63,5	-96,5	-60,5	-96,5	-60,5
H	-97,5	-86,5	-99,5	-93,5	-96,0	-81,5	-97,0	-82,5
I	-98,0	-82,0	-99,0	-77,5	-96,5	-73,5	-96,0	-71,5
Geral	-98,5	-87,5	-99,5	-93,5	-96,0	-60,5	-96,0	-60,5

Fonte: autora (2017).

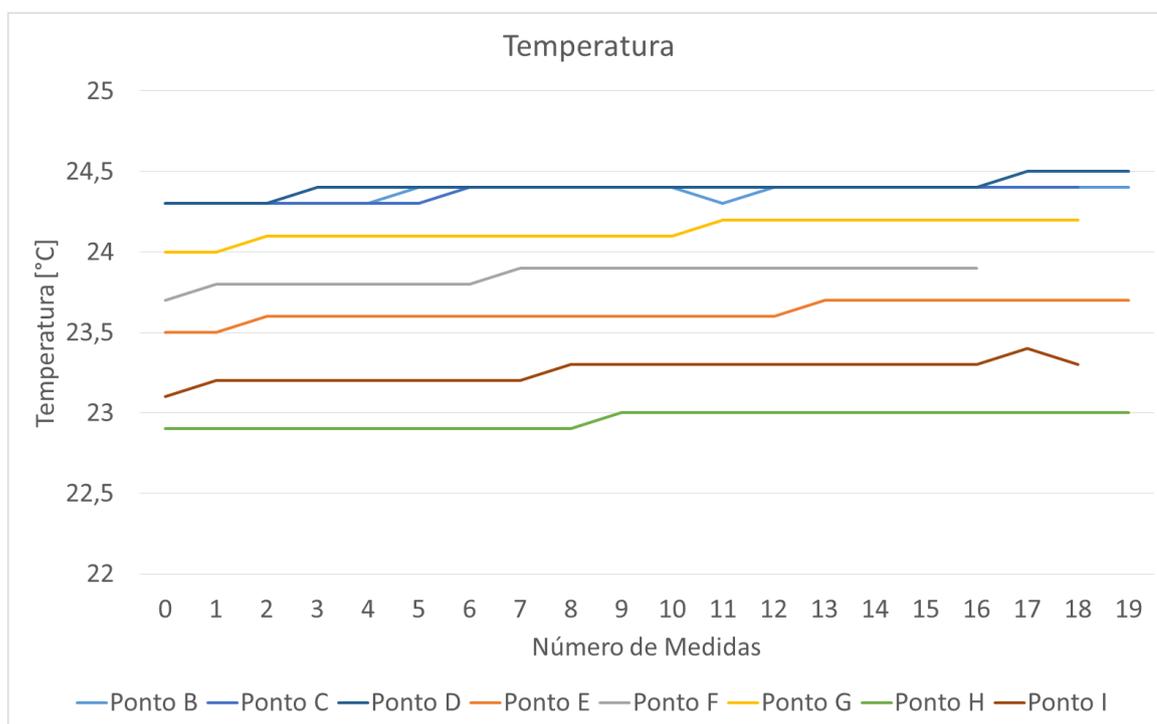
Nota-se na primeira, na terceira, na quinta e na sétima coluna da Tabela 6 respectivamente, que o Repetidor manteve uma regularidade em sua RSSI, de forma que em suas medidas mínimas, a maior diferença entre elas foi de 1,0 dB e entre suas medidas de máximas a diferença foi também de 1,0 dB, no que se refere aos instantes de medição em cada ponto. Depreende-se então desse resultado, que o Repetidor além de ter cumprido seu papel na RSSF, conforme proposto, também manteve uma regularidade em sua operação, no sentido em que não houve perdas de pacotes ou anomalias em suas medidas de RSSI.

Referente ao que se mediu na Base e no Nó sensor, as intensidades menores foram identificadas no ponto F, medida no Nó sensor, e no ponto H, medida no retorno à Base, conforme mostram células vermelhas da Tabela 6.

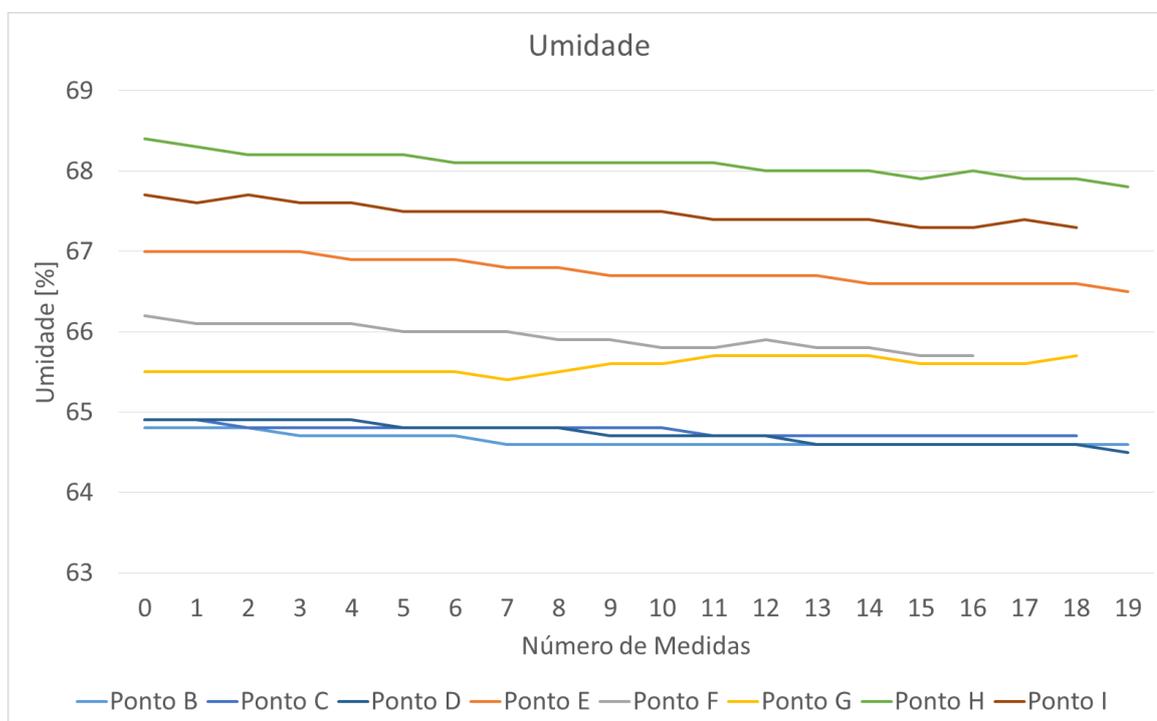
Relacionando os pontos F e H, ao mapeamento de pontos, verifica-se que a RSSI nesses pontos foram as menores, pois o ponto F encontra-se ladeado de obstáculos, como divisórias de PVC e estantes completas de livros, e o ponto H é o ponto mais longínquo da Base.

No que se refere a valores máximos de RSSI, tanto a medida no Nó sensor, quanto a medida de volta à Base, ambos foram encontrados no ponto G, que também obteve a menor atenuação no #Ensaio 3. Isso se dá, pois além do mesmo ser o ponto mais próximo à Base, o único obstáculo que os separam é uma parede de concreto.

Para os gráficos de temperatura e UR, Figura 54 e Figura 55, foram obtidos o comportamento de cada uma das grandezas, as quais não tiveram muitas variações, o que já era esperado para tais medidas, que foram realizadas em intervalos de tempo curtos (um segundo).

Figura 54. Gráfico Número de medidas versus temperatura (°C).

Fonte: autora (2017).

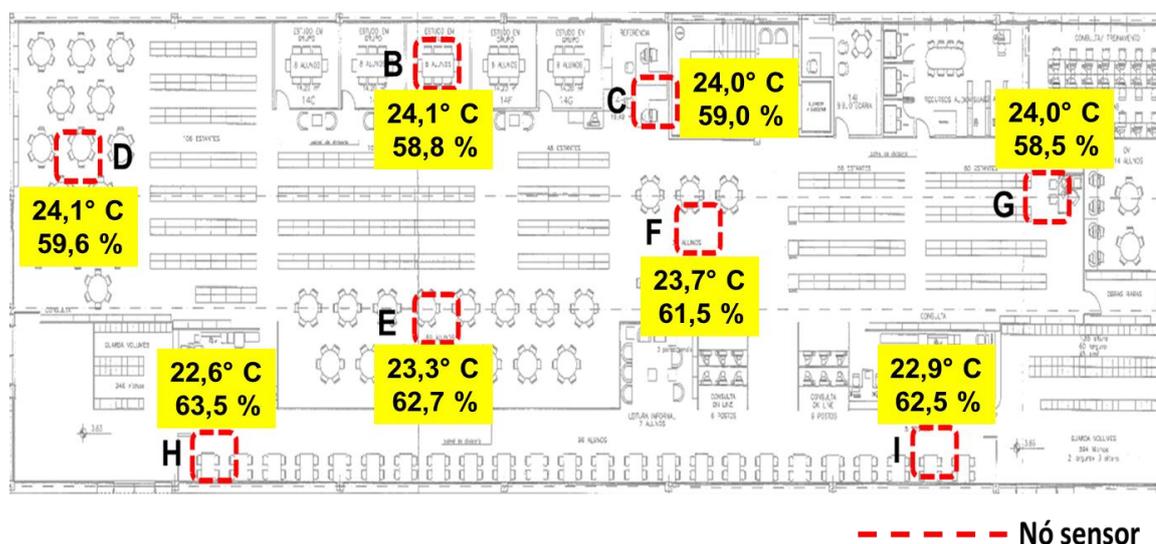
Figura 55. Gráfico Número de medidas versus UR (%).

Fonte: autora (2017).

Por fim, os gráficos permitem mostrar que apesar da variação da RSSI nos pontos medidos, não houve prejuízo nas medidas por conta da atenuação. Desta forma, verifica-se que foi possível a construção da rede proposta em segunda etapa, para a coleta de medidas das RSSI e das grandezas temperatura e UR e que é possível o distanciamento de Base e Nó sensor, acrescentando à RSSF, elementos como o Repetidor, não havendo perdas de pacotes ou prejuízos na coleta dos dados.

Por fim, foi possível mapear, a partir dos pontos de medidas distribuídos na planta baixa da biblioteca, a média de suas respectivas temperaturas e URs, assim como mostra a Figura 56.

Figura 56. Mapeamento de temperatura e UR médias, nos pontos de coleta de medidas.



Fonte: Adaptado de arquivo da PUCC 1 (2017).

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como proposta a criação de uma Rede de Sensores sem Fio, com ligação ponto a ponto, para possibilitar o monitoramento de grandezas relacionadas ao conforto ambiental.

Nos ensaios para validação dos componentes, foram obtidos dados que permitem avaliar o funcionamento dos mesmos, também utilizando para isso RSSF.

No ensaio referente à primeira etapa da proposta, o desenvolvimento de uma RSSF constituída por Base e Nó sensor, foi possível notar a agilidade e facilidade de coleta de medidas, para o monitoramento de um ambiente, seja para a formação de possível banco de dados ou para a visualização em tempo real, do valor das grandezas.

Para cumprir com o que foi proposto em uma segunda parte, foi realizada a evolução da rede, através da adição de um elemento denominado Repetidor. Este se comportou de forma satisfatória, visto que atendeu a necessidade de poder distanciar a Base e o “servidor”, do local de realização das medidas.

Em geral, os resultados obtidos no terceiro e quarto ensaios, mostram que é possível não só o monitoramento das grandezas, mas também, a adequação da rede conforme o que se objetiva.

Os componentes utilizados, também contribuíram para a obtenção desse resultado, os quais por serem nacionais e de código aberto, permitiram a personalização da rede.

Todos esses fatores, juntos, fizeram com que a rede tenha funcionado de acordo com o proposto, ou seja, que fosse estabelecida a comunicação entre transmissor e receptor, sem que houvesse perda de pacotes, e que fosse possível a coleta dos dados, tanto de temperatura e UR, quanto de RSSI.

Por meio dos resultados, discutidos no Capítulo 5, é possível comprovar que o trabalho atendeu ao que foi proposto, o desenvolvimento e teste de RSSF para avaliação de conforto de ambiente em edificações.

6.1 Contribuições

Este trabalho teve como contribuição, além da construção da RSSF proposta, também a disseminação de material e de métodos, para o avanço e maior utilização de tecnologia nacional, a qual pode atender de melhor forma o monitoramento sem fio no Brasil, com menor custo e maior disponibilidade de operação.

6.2 Proposta para trabalhos futuros

A proposta para trabalhos futuros é a de agregar à rede, maior número de Nós sensores e, se necessário, de Repetidores. Propor com esses elementos, outros tipos de aplicações e fazer a caracterização necessária na RSSF.

Propomos também, a utilização de ferramentas, que possam disponibilizar as informações coletadas de forma acessível aos usuários, por exemplo, na Internet e no formato de *dashboards*, criando assim uma estrutura de Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*).

7 REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14610**: Indicador de temperatura com sensor - Calibração por comparação com instrumento padrão. 2000.

ARDUINO. Arduino. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>>. Acesso em: 10 abr.2017.

ASSUMPÇÃO, RAPHAEL MONTALI. Avaliação do Impacto em Redes de Sensor Sem Fio com Utilização de Sistema de Rádio Sobre Fibra. 2011. Folhas 96f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais, e de Tecnologias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Campinas, 2011. Disponível em:<<http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/bitstream/tede/521/1/Raphael%20Montali%20da%20Assumpcao.pdf>>. Acesso em: 20 mai.2017.

BARROS, Daniel Braga. Determinação da taxa de ocupação de ambientes internos fechados em função da potência de sinal recebido em redes de sensores sem fio. 2014. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2014. Disponível em:<<http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/handle/tede/549>>. Acesso em: 20 mai.2017.

BONIFÁCIO, T. G. Implementação de um protocolo mesh multi-hop baseado em algoritmo de roteamento geográfico para redes de sensores sem fio. São Carlos: Universidade de São Paulo, 13 jan. 2010.

CANSADO, J. C. A. Instrumentalização de redes de sensores sem fio. São Paulo: Universidade de São Paulo, 16 dez. 2011.

CARDOSO, Karyna Silveira. Um estudo da aplicação de backhaul híbrido de RoF e rádio em RSSF. 2015. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2015. Disponível em:<<http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/handle/tede/555>>Acesso em: 22 mai.2017.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTA DE DESASTRES NATURAIS. Apresentação. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/apresentacao/>>. Acesso em: 20 abr.2017.

CHAVES, Pedro Rinaldo. Redes centralizadas de sensores sem fio para pequenas e médias indústrias: um estudo preparatório para a indústria 4.0. 2016. 78p.. Dissertação(Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas-SP. Disponível em:<<http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/handle/tede/897>>Acesso em: 25 abr.2017.

ELDORADO, I. DE P. Testes e ensaios. Disponível em: <<http://www.eldorado.org.br/disciplina/testes-e-ensaios/>>. Acesso em: 20 mai.2017.

FARIA, Thiago Tortorelli de. Multilink para determinação da taxa de ocupação em ambientes internos utilizando uma rede de sensores sem fio. 2015. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2015. Disponível em: <<http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/handle/tede/557>> Acesso em: 20 abr.2017.

FERNÁNDEZ-ARES, A. J. et al. Wireless monitoring and tracking system for vehicles: A study case in an urban scenario. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v. 73, p. 22–42, 2017.

GOMES, J. P. DE T.; NOVAES, L. F. DE. Protótipo de um Equipamento para Monitoramento e Aquisição de Dados Através de Redes de Sensores Sem Fio em Sistemas de Abastecimento de Água com a utilização da Plataforma Radiuino e ScadaBR. *Computer on the Beach* 2015, p. 501–503, 2015

GOOGLE. Maps. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Disponível em: <<http://www.radioit.com.br/datasheets/BE900-Datasheet-v1.5.pdf>>. Acesso em: 23 mai.2017.

INTRUMENTS, T. CC1101 Datasheet. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1101.pdf>>. Acesso em: 05 abr.2017.

LI, W.; BAO, J.; SHEN, W. Collaborative wireless sensor networks: A survey. 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, p. 2614–2619, 2011.

LIU, X.; XI, T.; NGAI, E. Data Modelling with Gaussian Process in Sensor Networks for Urban Environmental Monitoring. 2016 IEEE 24th International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS), p. 457–462, 2016.

LYKOV, S.; ASAKURA, Y.; HANAOKA, S. Positioning in Wireless Sensor Network for Human Sensing Problem. *Transportation Research Procedia*, v. 21, p. 56–64, 2017.

MARTINI, A. Microclima e Conforto Térmico Proporcionado pelas Árvores de Rua na Cidade de Curitiba - PR. Dissertação Engenharia Forestal Universidade Federal do Paraná, p. 129, 2013.

MILOJEVIC, M.; BARRIA, J. A. Decentralized data fusion for urban micro-scale monitoring using mobile sensor network. 2017 International Conference on Networked Systems (NetSys). *Anais...IEEE*, mar. 2017 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7903959/>>.

OLESEN, B. W. INDOOR ENVIRONMENT- HEALTH-COMFORT AND PRODUCTIVITY. 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/241836241_INDOOR_ENVIRONMENT_HEALTH-COMFORT_AND_PRODUCTIVITY>. Acesso em: 10 mar.2017.

OLIVEIRA, C.; GONCALVES, G. Environmental Monitoring Services and wireless sensor networks applied on Urban spaces. 2010 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR). Anais...IEEE, maio 2010 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5520681/>>.

OLIVEIRA, M. A. DE. Sistema De Ensaio De Desempenho De Incubadora Neonatal. p. 112, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/89783/241199.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 10 mai.2017.

PENA, A. G.; JUNIOR, H. A.; FILHO, J. L. P. A banda larga e o cenário brasileiro das telecomunicações. Revista de Direito, Estado e Telecomunicações, p. 237-302, v. 4, n. 1, 2012.

PRASAD, J. P.; MOHAN, S. C. Elliptical Curve based multi-tier Spherical Grid routing model for smart & secure global communication using WSN's. 2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES). Anais...IEEE, jul. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7853578/>>.

RADIOIT. BE900 Datasheet. Disponível em: <<http://www.radioit.com.br/datasheets/BE900-Datasheet-v1.5.pdf>>. Acesso em: 10 mar.2017.

RADIOIT. Produtos. Disponível em: <<http://www.radioit.com.br/produtos.html>>. Acesso em: 10 mar.2017.

RADIUINO. Treinamento Plataforma Radiuino. Disponível em: <<http://radiuino.cc/wp-content/uploads/2015/04/TreinamentoPlataformaRadiuino1.pdf>>. Acesso em: 10 mar.2017.

RASHID, B.; REHMANI, M. H. Applications of wireless sensor networks for urban areas: A survey. Journal of Network and Computer Applications, v. 60, p. 192–219, 2016.

RJ, C. DE O. DA P. DO. Radar Meteorológico. Disponível em: <<http://centrodeoperacoes.rio>>. Acesso em: 20 mai.2017.

RODRIGUES, TANIRO CHACON. Abordagem Dirigida a Modelos para Redes de Sensores sem Fio. 2011. Folhas 103f. Dissertação (Mestrado em Sistemas e Computação do Departamento de Informática e Matemática Aplicada) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011. Disponível em:<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/18017/1/TaniroCR_DISSERT.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2017.

SILVA, Luiz Rodolfo Barreto da. Metodologia para aferição de distância entre nós sensores baseado em RSSI. 2014. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2014. Disponível em:<<http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/handle/tede/557>>Acesso em: 05 mai.2017.

TELECO. Seção: Tutoriais Banda Larga. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeswifi1/pagina_3.asp>. Acesso em: 05 fev.2017.

TESTO. testo 610 - Instrumento de medição de umidade/temperatura. Disponível em: <<https://www.testo.com/pt-BR/testo-610/p/0560-0610>>. Acesso em: 23 abr.2017.

UN-HABITAT. World Cities Report 2016: Urbanization and Development – Emerging Futures. Disponível em: < <https://unhabitat.org/wp-content/uploads/2014/03/WCR-%20Full-Report-2016.pdf>>. Acesso em: 23 mai.2017.

WEISSTECNICH. Floorstanding Temperature and Climatic Test Chambers site. Disponível em: <<http://weiss-uk.com/products/temperature-and-climatic-testing/temperature-and-climatic-test-chambers/floorstanding-large-capacity-temperature-climatic-test-chambers>>. Acesso em: 18 mar.2017.

WYKRET, T. F. Coexistência em redes de sensores sem fio: técnicas de seleção dinâmica de canais. 2014. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação), Universidade federal de Lavras, Lavras. 2014.

YI, WEI-YING; LEUNG, KWONG-SAK; LEUNG, YEE; MENG, MEI-LING and MAK, TERRENCE. Modular Sensor System (MSS) for Urban Air Pollution Monitoring. 2016 IEEE Sensors. Anais...IEEE, out. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7808924/>>.

APÊNDICE A – Código do *software* de requisição em Python

```

###Bibliotecas###
import serial
import math
import time
import struct
from time import localtime, strftime

contador = 0
RSSIdS = RSSIdR = RSSIdB = RSSIdR = 0

###Configura a serial###
n_serial = raw_input("Digite o número da serial:")
n_serial1 = int(n_serial) - 1
ser = serial.Serial(n_serial1, 9600, timeout=0.5, parity=serial.PARITY_NONE)

###Identificação da base, repetidor e nó sensor###
ID_repetidor = raw_input('ID_repetidor:')
ID_destino_ida = raw_input('ID_destino_ida:')
ID_base = raw_input('ID_base:')
ID_destino_volta = raw_input('ID_destino_volta:')

###Cria o vetor Pacote###
PacoteTX = {}
PacoteRX = {}

###Intervalo entre as medições###
TEMPO1 = 1.0

###Cria Pacote de 52 bytes com valor zero em todas as posições###
for i in range(52): # faz um array com 52 bytes
    PacoteTX[i] = 0
    PacoteRX[i] = 0

###LOOP INFINITO###
while True:
    try:
        contador_tot = 0
        contador_pot = 0
        potmediad = 0.0
        potacumulad = 0.0
        potmeddbd = 0.0
        contador_err = 0
        potmediau = 0.0
        potacumulau = 0.0
        potmeddbu = 0.0
        PER = 0

```

```

AcumDPd = 0
AcumDPu = 0
AcumVad = 0
AcumVau = 0
MedDPd = 0
MedDPu = 0
DPd = 0
DPu = 0

```

```

PotMaxd = -200
PotMind = 10

```

```

PotMaxu = -200
PotMinu = 10

```

```

###Imprime na tela o menu de opções###
print '1 - Mede temperatura e umidade:'
print 's - Para sair:'

```

```

###Leitura da opção do menu escolhida###
Opcao = raw_input('Comando:')

```

```

if Opcao == "1"

```

```

    num_medidas = raw_input('Entre com o número de medidas = ')
    w = int(num_medidas)

```

```

    Log = strftime("Coleta_de_dados_%Y_%m_%d_%H-%M-%S.txt")
    print "Arquivo de log: %s" % Log
    S = open(Log, 'w')

```

```

    ###FOR PARA REALIZAÇÃO DAS MEDIDAS###
    for j in range(w):

```

```

        #Limpa o buffer da serial
        ser.flushInput()

```

```

        #Contador de PacoteTX
        PacoteTX[13] = contador + 1

```

```

        #Coloca no pacote os IDs
        PacoteTX[8] = int(ID_repetidor)
        PacoteTX[9] = int(ID_destino_ida)
        PacoteTX[10] = int(ID_base)
        PacoteTX[11] = int(ID_destino_volta)

```

```

        ###TX pacote###
        for i in range(52):

```

```

            ser.write(chr(PacoteTX[i]))

```

```

###Tempo de espera para que receba a resposta do sensor###
time.sleep(0.1)

###RX pacote - recebe o pacote enviado pelo nó sensor###
PacoteRX = ser.read(52) # faz a leitura de 52 bytes do buffer que recebe
da serial pela COM

###Checa se recebeu 52 bytes###
if len(PacoteRX) == 52:

    rssidS = ord(PacoteRX[0]) # RSSI_DownLink_Sensor
    rssidR = ord(PacoteRX[1]) #RSSI_DownLink_Repetidor
    rssiUR = ord(PacoteRX[3]) #RSSI_UpLink_Repetidor
    rssiUB = ord(PacoteRX[2]) # RSSI_UpLink_Base

    ###RSSI Downlink_Sensor - potência recebida pelo sensor###
    if rssidS > 128:
        RSSIdS=((rssidS-256)/2.0)-81

    else:
        RSSIdS=(rssidS/2.0)-81

    ###RSSI Downlink_Repetidor - potência recebida pelo repetidor da
base###
    if rssidR > 128:
        RSSIdR=((rssidR-256)/2.0)-81

    else:
        RSSIdR=(rssidR/2.0)-81

    #####RSSI Downlink_Sensor - potência recebida pelo sensor###
    if rssiUR > 128:
        RSSIdUR=((rssiUR-256)/2.0)-81

    else:
        RSSIdUR=(rssiUR/2.0)-81

    ###RSSI Uplink_Base - potência recebida pela base###
    if rssiUB > 128:
        RSSIdUB=((rssiUB-256)/2.0)-81

    else:
        RSSIdUB=(rssiUB/2.0)-81

    ###Leitura do AD0###
    ad0t = ord(PacoteRX[16])
    ad0h = ord(PacoteRX[17])
    ad0l = ord(PacoteRX[18])

```

```

AD0 = ad0h * 256 + ad0l
AD0 = AD0/10.0

###Leitura do AD1###
ad1t = ord(PacoteRX[19])
ad1h = ord(PacoteRX[20])
ad1l = ord(PacoteRX[21])
AD1 = ad1h * 256 + ad1l
AD1 = AD1/10.0

if RSSIdS > PotMaxd:
    PotMaxd = RSSIdS

if RSSIdS < PotMind:
    PotMind = RSSIdS

if RSSluB > PotMaxu:
    PotMaxu = RSSluB

if RSSluB < PotMinu:
    PotMinu = RSSluB

print time.asctime(),j,'Temperatura', AD0,'°C','Umidade', AD1,'%',' RSSIdS = ',
RSSIdS,'dBm', ' RSSIdR = ', RSSIdR,'dBm', ' RSSluR = ', RSSluR,'dBm', '
RSSluB = ', RSSluB,'dBm'
    print >>S,time.asctime(),j,'Temperatura', AD0,'°C','Umidade', AD1,'%','
RSSIdS = ', RSSIdS,'dBm', ' RSSIdR = ', RSSIdR,'dBm', ' RSSluR = ',
RSSluR,'dBm', ' RSSluB = ', RSSluB,'dBm'

    time.sleep(int(TEMPO1))

else:
    contador_err = contador_err + 1
    print 'Perda de pacote'
    time.sleep(int(TEMPO1))

contador_tot = contador_tot + 1

if contador_pot == 0:
    contador_pot = 1

potmediad = potacumulad /contador_pot

if potmediad==0:
    potmediad=0
else:
    potmeddbd = 10*math.log10(potmediad)
#print ' A Potência média de downlink foi:', potmediad , ' mW'
print 'A Potência média de Downlink em dBm foi:', potmeddbd,' dBm'
print 'A Potência Máxima de Downlink em dBm foi:', PotMaxd,' dBm'

```

```

    print 'A Potência Mínima de Downlink em dBm foi:', PotMind,' dBm'
    print >>S,time.asctime(),' A Potência média de Downlink em dBm foi:',
potmeddbd,' dBm'
    print >>S,time.asctime(),'A Potência Máxima de Downlink em dBm foi:',
PotMaxd,' dBm'
    print >>S,time.asctime(),'A Potência Mínima de Downlink em dBm foi:',
PotMind,' dBm'

    potmediau = potacumulau /contador_pot

    if potmediau==0:
        potmediau=0
    else:
        potmeddbu = 10*math.log10(potmediau)
        #print ' A Potência média de Uplink foi:', potmediau , ' mW'
        print 'A Potência média de Uplink em dBm foi:', potmeddbu,' dBm'
        print 'A Potência Máxima de Uplink em dBm foi:', PotMaxu,' dBm'
        print 'A Potência Mínima de Uplink em dBm foi:', PotMinu,' dBm'

        print >>S,time.asctime(),' A Potência média de Uplink em dBm foi:',
potmeddbu,' dBm'
        print >>S,time.asctime(),'A Potência Máxima de Uplink em dBm foi:',
PotMaxu,' dBm'
        print >>S,time.asctime(),'A Potência Mínima de Uplink em dBm foi:',
PotMinu,' dBm'

    else:

        ###Opção de saída###

        ser.close() # fecha a porta COM
        print 'Fim da Execução' # escreve na tela
        break

        ser.flushInput()

except KeyboardInterrupt:
    S.close()
    ser.close()
    break

```