

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE
CAMPUS DE NATAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

ANTONIO ITAMAR DE BRITO MOREIRA

**ANÁLISE DE QOS DO PROTOCOLO *ZIGBEE* NO MONITORAMENTO REMOTO
DE UNIDADE DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL DA REFINARIA POTIGUAR
CLARA CAMARÃO**

**NATAL
2014**

ANTONIO ITAMAR DE BRITO MOREIRA

**ANÁLISE DE QOS DO PROTOCOLO *ZIGBEE* NO MONITORAMENTO REMOTO
DE UNIDADE DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL DA REFINARIA POTIGUAR
CLARA CAMARÃO**

Monografia apresentada à Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN – como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação

ORIENTADOR:
Felipe Denis Mendonça de Oliveira

**NATAL
2014**

**Catálogo da Publicação na Fonte.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.**

Moreira, Antonio Itamar De Brito

Análise de QOS do Protocolo *Zigbee* No Monitoramento Remoto De Unidade De Produção De Biodiesel Da Refinaria Potiguar Clara Camarão / Antonio Itamar De Brito Moreira –Natal, RN, 2014.

1.2. 65 F.

Orientador(a): Prof. Felipe Denis Mendonça de Oliveira

Monografia (Bacharelado). Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Campus de Natal. Curso de Ciência da computação.

1. Redes de Sensores sem Fio. 2. Protocolo de comunicação - *ZigBee*. 3. Biodiesel – Simulação.. I. Oliveira, Felipe Denis Mendonça de. II. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. III. Título.

UERN/ BC

CDD 004

ANTONIO ITAMAR DE BRITO MOREIRA

**ANÁLISE DE QOS DO PROTOCOLO ZIGBEE NO MONITORAMENTO REMOTO
DE UNIDADE DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL DA REFINARIA POTIGUAR
CLARA CAMARÃO**

Monografia apresentada à Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN – como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação

Aprovado em ____/____/____.

Banca Examinadora

Prof°. Felipe Denis Mendonça de Oliveira
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Prof^ª. Rosiery da Silva Maia.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Prof°. Rodrigo Soares Semente
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Dedico este trabalho aos meus pais, Francisco Moreira de Souza e Josefa de Brito Moreira e a minha mulher, Talita Rackel Maia que, além de contribuir com todo o apoio para que este trabalho pudesse ser realizado, ainda me presenteou com Marina Moreira Maia, nossa filha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora por me conceder a oportunidade de realizar este trabalho com muito empenho e dedicação que, mesmo com todos os momentos de dificuldades que passei ao longo do curso, consegui superá-los. A todos os meus familiares, em especial aos meus pais, que verdadeiramente não consigo palavras que possam transmitir a grandiosidade de afeto, carinho, respeito, admiração, gratidão e orgulho que tenho e sinto de vocês. A minha mulher, que sempre demonstrou torcer por minhas conquistas, sempre me apoiando nos momentos mais difíceis desta jornada acadêmica e que me presenteou com a nossa filha, que selará eternamente a nossa união como família. A todo o grupo de docentes e discentes da UERN, que fizeram parte da estrutura do meu curso, influenciando direta ou indiretamente nos meus estudos. A todos meus colegas e amigos de classe. Em especial meu orientador, Professor Felipe Denis Mendonça de Oliveira, que sempre dispendeu esforços para me auxiliar ao longo desta jornada.

“Não confunda derrotas com fracasso nem vitórias com sucesso. Na vida de um campeão sempre haverá algumas derrotas, assim como na vida de um perdedor sempre haverá vitórias. A diferença é que, enquanto os campeões crescem nas derrotas, os perdedores se acomodam nas vitórias.”

(Roberto Shinyashiki)

RESUMO

As Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) têm proporcionado um crescimento significativo das perspectivas industriais e científicas em todo o mundo. Diante disso, o setor industrial há muito tempo tem demonstrado interesse por novas tecnologias, buscando a redução de custos e otimização de seus equipamentos, procurando facilitar e assegurar o desenvolvimento de suas atividades comerciais. É notório que a tecnologia sem fio mostra-se como possível solução para precaução e resolução de problemas, em ambientes hostis, onde é inviável o envio constante de mão de obra para realizar operações rotineiras ou de manutenção. Este trabalho fará o estudo do uso de uma RSSF aplicada à indústria de petróleo, em particular à produção de Biodiesel da Refinaria Potiguar Clara Camarão (RPCC), localizada no Polo Petroquímico de Guamaré-RN, utilizando a ferramenta de simulação *Network Simulator 2* (NS-2). Serão feitas simulações considerando o monitoramento de temperatura, pressão e vazão de cada unidade produtora, inclusive mediante a presença de falhas. Serão aplicadas métricas, de qualidade de serviço e desempenho que atestem a viabilidade do uso de RSSF baseadas no protocolo de comunicação *ZigBee*, que usa o padrão IEEE 802.15.4. Pacotes enviados, vazão, atraso fim-a-fim, *jitter* e pacotes perdidos são os dados de QoS utilizados neste trabalho. O objetivo destas simulações é mostrar, através de resultados gráficos e dados estatísticos, em que cenário de comunicação (simultânea ou intercalada) o protocolo *ZigBee* obteve os melhores resultados.

Palavras-chave: Redes de Sensores sem Fio, Protocolo de comunicação *ZigBee*, Polo Petroquímico de Guamaré-RN, Biodiesel, Simulações.

ABSTRACT

The Wireless Sensor Networks (WSN) have provided a significant growth on worldwide industrial and scientific perspectives. Thus, the manufacturing sector has long shown interest in new technologies in order to reduce costs and optimize their equipment, trying to facilitate and ensure the development of their business activities. It is clear that wireless technology shows up as a possible solution for caution and problem solving, in hostile environments, where it is impracticable constant sending manpower to perform routine maintenance or operations. This work studies the use of a WSN applied on oil industry, in particular the biodiesel production on Clara Camarão Potiguar Refinery (RPCC), located in the Guamaré-RN Petrochemical. The network simulator (NS-2) was used to simulate the monitoring of flow, pressure and temperature in each production unit. Faults tolerance was also tested on those simulations. Metrics of service quality and performance were applied to demonstrate the feasibility of using WSN on oil industry. The WSNs investigated were based on *ZigBee* communication protocol, IEEE 802.15.4 standard. Packets sent, throughput, delay end-to-end jitter and packet loss were the QoS data used in this study. The goal of these simulations is to show, through charts and statistical data results, in which communication scenario (simultaneous or interleaved) *ZigBee* protocol achieved the best results.

Keywords: Wireless Sensor Networks, *ZigBee* communication protocol, Guamaré Petrochemical-RN, Biodiesel, Simulations.

LISTA DE FIGURAS

1 - Áreas de aplicação das RSSF	22
2 - Camadas de comunicação padrão IEEE 802.15.4.....	30
3 - Estrutura <i>superframe</i>	33
4 - Topologias de rede do padrão IEEE 802.15.4	35
5 - Polo Petroquímico de Guamaré/RN. Em destaque: Refinaria Potiguar Clara Camarão.....	41
6 - Foto de satélite dos 28 tanques da RPPC, agrupados em 4 <i>clusters</i>	42
7 - Estrutura de uma simulação.....	44
8 - Distância média entre os clusters de tanques e os nós monitorados até o nó coordenador da rede.	48
9 - Imagem dos nós distribuídos fisicamente nos cenários implementados baseados nas distâncias reais da RPCC, gerado através do NAM	50
10 - Total dos pacotes recebidos no cenário da comunicação simultânea utilizando o protocolo <i>ZigBee</i> (roteando como HTR).....	52
11 - <i>Clusters</i> da aplicação	52
12 - Vazão dos nós na rede no cenário da comunicação simultânea utilizando o protocolo de roteamento <i>ZigBee</i>	53
13 - Atraso fim-a-fim dos pacotes enviados no cenário da comunicação simultânea utilizando o protocolo <i>ZigBee</i> (roteando como HTR).....	53
14 - <i>Jitter</i> dos pacotes enviados no cenário da comunicação simultânea utilizando o protocolo <i>ZigBee</i> (roteando como HTR).....	54
15 - Total dos pacotes enviados no cenário da comunicação intercalada utilizando o protocolo <i>ZigBee</i> (roteando como HTR).....	55
16 - Vazão dos nós na rede no cenário da comunicação intercalada utilizando o protocolo <i>ZigBee</i> (roteando como HTR).....	55
17 - Atraso fim-a-fim dos pacotes enviados no cenário da comunicação intercalada utilizando o protocolo <i>ZigBee</i> (roteando como HTR).....	56
18 - <i>Jitter</i> total dos pacotes enviados no cenário da comunicação intercalada utilizando o protocolo <i>ZigBee</i> (roteando como HTR).....	57
19 - Total dos pacotes enviados no cenário da comunicação simultânea utilizando o protocolo <i>ZigBee</i> na presença de falhas	58
20 - Total dos pacotes enviados no cenário da comunicação intercalada utilizando o protocolo <i>ZigBee</i> na presença de falhas	59

LISTA DE TABELAS

1 - Camada física especificação.....	32
2 - Regiões produtoras de oleaginosas.....	40
3 - Total de pacotes enviados, perdidos e percentual de pacotes perdidos do protocolo de comunicação <i>ZigBee</i> no cenário da comunicação simultânea e comunicação intercalda.....	57

LISTA DE ABREVIações

AODV	<i>Ad-hoc On-demand Distance Vector</i>
CBR	<i>Constant Bit Rate</i>
CSMA-CA	<i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance</i>
PHY	Camada Física
MAC	<i>Controle de Acesso ao Meio</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
DSDV	<i>Destination-sequenced distance vector</i>
ED	<i>Energy Detection</i>
FFD	<i>Full Function Device</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GTS	<i>Guaranteed Time Slots</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
ISM	<i>Industrial Scientific and Medical</i>
LQI	<i>Link Quality Indication</i>
LEACH	<i>Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy</i>
NS-2	<i>Network Simulator 2</i>
NAM	<i>Network AniMator</i>
OTCL	<i>Object-oriented Tool Command Language</i>
QAV	Querosene para Aviação
QoS	<i>Quality of Service</i>
RF	Rádio Frequência
RFD	<i>Reduced Function Device</i>
RPCC	Refinaria Potiguar Clara Camarão
RSSF	Rede de Sensores sem Fio
SMAC	Simple Media Access Controller
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
VINT	<i>Virtual InterNetwork Testbed</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
HTR	Hierarchical Tree Routing

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 PROBLEMÁTICA	17
1.2 SOLUÇÃO	17
1.3 OBJETIVOS	18
1.4 TRABALHOS RELACIONADOS	18
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	20
2 REDES DE SENSORES SEM FIO	22
3 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA REDE DE SENSORES SEM FIO E TECNOLOGIAS	27
3.1 CARACTERÍSTICAS DAS REDES DE SENSORES SEM FIO.....	28
3.2 ARQUITETURA DAS RSSF: PADRÃO DE COMUNICAÇÃO, CAMADAS, DISPOSITIVOS E TOPOLOGIAS	29
3.2.1 Padrão de Comunicação IEEE 802.15.4	29
3.2.2 Camadas	31
3.2.2.1 Camada física (PHY).....	31
3.2.2.2 Camada MAC	32
3.2.3 Dispositivos	33
3.2.4 Topologias	34
3.3 PROTOCOLO DE ROTEAMENTO UTILIZADO EM RSSF APLICADO AO CENÁRIO DE SIMULAÇÃO ESCOLHIDO.....	36
3.3.1 Protocolo ZigBee	37
4 A HISTÓRIA DO BIODIESEL: APLICAÇÃO E METODOLOGIA	38
4.1 BIODIESEL: DEFINIÇÃO E PROCESSOS DE PRODUÇÃO.....	38
4.1.1 Processo de craqueamento	38
4.1.2 Processo de esterificação	39
4.1.3 Processo de transesterificação	39
4.2 AS PRINCIPAIS ESPÉCIES DE OLEAGINOSAS PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL E ÁREAS DE PRODUÇÃO.	39
4.3 CENÁRIO DE TESTES E METODOLOGIA UTILIZADA	40
4.3.1 História da Refinaria Potiguar Clara Camarão (RPCC)	40
4.3.2 Ambiente de Monitoramento	41
4.4 FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO <i>NETWORK SIMULATOR 2</i>	43

4.5 CAMADAS DO <i>NETWORK SIMULATOR 2</i>	44
4.6 PARÂMETROS DE QOS MEDIDOS.....	45
4.7 <i>GNU PLOT</i>	46
4.8 <i>NETWORK SIMULATOR 2 VISUAL TRACE ANALYZER</i>	46
4.9 PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO	46
4.9.1 Quantidade de nós sensores a serem monitorados	47
4.9.2 Tamanho da área de simulação	47
4.9.3 Distribuição dos nós sensores	47
4.9.4 Distribuição dos sensores em cada tanque.....	48
4.9.5 Parâmetros para simulações.....	48
5 ANÁLISES DOS RESULTADOS	50
5.1 ANÁLISES DA REDE HÍBRIDA NA COMUNICAÇÃO SIMULTÂNEA	50
5.1.1 Total de pacotes recebidos	51
5.1.2 Vazão dos pacotes enviados.....	52
5.1.3 Atraso fim-a-fim dos pacotes enviados.....	53
5.1.4 <i>Jitter</i> dos pacotes enviados	54
5.2 ANÁLISES DA REDE HÍBRIDA NA COMUNICAÇÃO INTERCALADA	54
5.2.1 Total de pacotes recebidos	54
5.2.2 Vazão dos pacotes enviados.....	55
5.2.3 Atraso fim-a-fim dos pacotes enviados.....	56
5.2.4 <i>Jitter</i> dos pacotes enviados	56
5.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA REDE HÍBRIDA EM COMUNICAÇÃO SIMULTÂNEA E COMUNICAÇÃO INTERCALADA.....	57
5.4 ANÁLISES DA REDE HÍBRIDA NA COMUNICAÇÃO SIMULTÂNEA COM PRESENÇA DE FALHAS.....	58
5.5 ANÁLISE DA REDE HÍBRIDA NA COMUNICAÇÃO INTERCALADA COM PRESENÇA DE FALHAS.....	58
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
REFERENCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia de comunicação e computação proporcionou uma grande transformação no mundo e maior integração da sociedade organizada, permitindo eficácia e eficiência na realização de suas tarefas (NOVA, 2009). As Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) têm proporcionado um crescimento significativo das perspectivas industriais e científicas em todo o mundo. O avanço da eletrônica, tem permitido o desenvolvimento de sensores e transceptores com consumo de energia e dimensões cada vez menores e é uma forte tendência para os próximos anos (SOARES, 2012).

Ao contrário do petróleo e do gás natural, o biodiesel é um combustível renovável obtido através de óleos vegetais, como mamona, soja, babaçu, macaúba, entre outras, ou de gorduras animais e fabricados por meio de um processo químico conhecido como transesterificação, que é a reação de um óleo vegetal com um álcool (metanol ou etanol), na presença de um acelerador (catalisador), que produz biodiesel e, como subproduto, a glicerina (produto usado na indústria de cosméticos). Atualmente, o biodiesel vendido aqui no Brasil possui 5% de biodiesel e 95% de diesel. A combinação entre o biodiesel e o diesel é conhecida pela letra B, seguida de um número que corresponde ao total de biodiesel presente na combinação. Por exemplo, se a combinação têm 5% de biodiesel, é B5, se têm 20% de biodiesel, é B20 (BIODIESELBR.COM, 2014).

Os métodos atuais de automação e controle do monitoramento das variáveis envolvidas nos processos industriais, comerciais e/ou residenciais, são realizados, através de fios e cabos, entretanto, neste meio de transmissão físico, problemas como desgaste do material, portabilidade, flexibilidade, confiabilidade dos dados obtidos, estão sempre presentes com maior intensidade (OLIVEIRA, 2012).

Diante disto e sabendo-se que a indústria do petróleo caracteriza-se por ser, em quase toda sua totalidade, uma área com permanentes riscos de explosões, também denominada "Área classificada", a retirada de cabos que interligam sensores e atuadores aos seus dispositivos controladores torna-se de extrema importância, flexibilizando e portabilizando tais sistemas, reduzindo, também, o custo operacional de instalação e desinstalação destes equipamentos (OLIVEIRA, 2009).

Uma RSSF fundamenta-se por ser uma tecnologia distribuída em um local com a função de coletar os dados de uma determinada área de interesse. Para ser

implantada, uma RSSF deve possuir algumas características, tais como: baixo custo, baixa latência e, sobretudo, pequeno consumo de energia (OLIVEIRA, 2012). Os componentes principais de uma RSSF são os nós sensores, que são dispositivos independentes aptos com capacidade de sensoriamento, processamento e comunicação, e o sorvedouro, para onde os nós sensores transmitem os dados coletados (SILVA, 2006).

Nos últimos anos, percebe-se um avanço das RSSF em ambientes industriais, principalmente em setores onde a monitoração remota de variáveis deve otimizar a utilização do espaço físico (SILVA, 2006). O objetivo das RSSF na área industrial é a eliminação de cabos que interligam os sensores e a rede, melhorando o custo benefício e a mobilidade e diminuindo a manutenção (KANDRIS et al., 2008). O interesse do setor industrial pela redução de custos e melhoria no desempenho, já que apresenta, muitas vezes, riscos físicos aos seus trabalhadores, fato comprovado pelas áreas onde o índice de acidentes é alto (SILVA, 2006).

As redes remotas de pequeno alcance podem ser classificadas como *Wireless Local Area Network (WLAN)* e *Wireless Personal Area Network (WPAN)*, cuja RSSF do padrão IEEE 802.15.4 encontra-se presente. Logo, o padrão recomendado para ser utilizado nas RSSF é este, visto que possui o seguinte perfil: baixa complexidade de implementação, baixa taxa de transmissão, baixo custo o que se torna uma vantagem para as RSSF.

Como neste tipo de rede, os nós sensores, não precisam transmitir dados robustos como vídeos e imagens e conseqüentemente fazer uso de altos recursos de processamento, torna-se inviável uma alta taxa de transmissão devido ao alto consumo de energia que propiciaria a rede. Além disso, há vantagem de utilizar o mecanismo de hibernação, que garante o baixo consumo de energia na ausência de transmissão (OLIVEIRA, 2009).

O presente trabalho propõe o estudo do uso de uma RSSF aplicada à indústria de petróleo, em particular à produção de biodiesel que é o cenário motivador desta pesquisa, utilizando a ferramenta de simulação *Network Simulator (NS-2)*. Serão feitas simulações em cenários distintos, considerando o monitoramento de temperatura, pressão e vazão de cada unidade produtora. Serão aplicadas métricas de qualidade de serviço e desempenho, que atestem a viabilidade do uso de RSSF baseadas no protocolo de comunicação *ZigBee*, presente no padrão IEEE 802.15.4.

1.1 PROBLEMÁTICA

Recentemente a indústria do petróleo está investindo em tecnologias de monitoramento de tanques de armazenamento e dutos de condução de hidrocarbonetos, com o objetivo de tentar evitar problemas habituais, como por exemplo, vazamento e corrosão. Normalmente, os equipamentos utilizados para tal finalidade, sempre faziam uso de fios para interligar os sensores de medição às unidades de aquisição de dados. Entretanto, esta opção ficou defasada, devido ao aparecimento de técnicas que viabilizaram a retirada de tais fios, de modo a possibilitar uma infraestrutura com menos custos e maior facilidade de manutenção. Porém, esse tipo de tecnologia ainda enfrenta algumas dificuldades, com, por exemplo: o poder de processamento limitado, armazenamento, memória e consumo de energia (OLIVEIRA, 2012).

1.2 SOLUÇÃO

Devido à indústria de petróleo possuir lugares considerados como ambientes hostis, a implantação de nós sensores sem fio nesses ambientes é uma solução viável, diminuindo, conseqüentemente, o custo de manutenção e facilidade de relocação dos nós sensores, se comparada a uma rede de sensoriamento cabeada. Além disso, e também pelo motivo que, em quase toda sua totalidade, tal indústria caracteriza-se por ser uma área com permanentes riscos de explosões (Áreas Classificadas), a retirada de cabos que interligam sensores e atuadores melhora a segurança do sistema, de modo a reduzir também os custos com equipamentos (OLIVEIRA, 2009).

Considerando a instalação de RSSF nestes ambientes industriais, existem uma série de requisitos a serem estudados, implementados e implantados em um sistema que comporte uma rede deste tipo. A topologia da rede, protocolos e tráfego da rede, por exemplo, são fatores importantes a serem considerados. O protocolo de roteamento, que é um dos focos desse trabalho, foi criado com a finalidade de ampliar o tempo de conectividade dos dispositivos e minimizar diversas restrições de ambiente. É fundamental a utilização de um protocolo que passe confiabilidade e proporcione um nível de comunicação aceitável, para que a rede sem fio tenha o máximo de qualidade possível (RIBEIRO, 2010). Estudar o protocolo *ZigBee*, no ambiente proposto para simulação, é investigar o comportamento da rede através de

testes de QoS, tais como total de pacotes enviados e perdidos, vazão de pacotes enviados, atraso fim-a-fim e *jitter*.

1.3 OBJETIVOS

Nas RSSF, é fundamental estabelecer um padrão de comunicação e transferência de dados, onde estes padrões são estabelecidos por meio de protocolos. Os dispositivos que fazem uso do meio sem fio para a troca de dados utilizando alguns padrões que são definidos pela IEEE, como por exemplo, o IEEE 802.11, IEEE 802.15.1 e o IEEE 802.15.4 (MOREIRA, 2012).

O presente trabalho tem como objetivo mostrar a análise de QoS do protocolo de comunicação *ZigBee*, propondo o monitoramento da temperatura, pressão e vazão das unidades de produção de biodiesel do Polo Petroquímico de Guamaré-RN, visto que, tal planta está inserida em uma Área Classificada, sob riscos de explosão e, tais variáveis são importantes para garantir que a planta se mantenha sob condições ideais de produção. Testes de tolerância às falhas serão executados, no sentido de verificar a capacidade de recuperação desta rede de monitoramento remota face às falhas.

1.4 TRABALHOS RELACIONADOS

Encontram-se vários trabalhos relacionados à Rede de Sensores Sem Fio, onde muitos deles são aplicados na área industrial. Alguns destes trabalhos são relativos ao monitoramento de ambientes hostis presentes nestas indústrias. Esta seção apresenta alguns dos trabalhos relacionados com este.

Fernandes (2010) apresenta o desenvolvimento de sistemas embarcados dedicados a uma rede de sensores sem fio baseado no padrão IEEE 802.15.4, onde se aplica o protocolo *ZigBee*, entre os sensores, atuadores e o CLP, procurando resolver os problemas presentes nas fases de implantação e manutenção da comunicação física atual das unidades de elevação de petróleo baseados no método *Plunger-Lift*. Testes foram realizados, utilizando como ferramenta de análises, o analisador de espectro para testes de coexistência entre redes; o osciloscópio, para medição do consumo de energia; um supervisor; desenvolvido em *LabVIEW*, que armazena as informações da rede ao longo do tempo, para análise de qualidade de serviço; e o supervisorio SISAL, desenvolvido pela UFRN em parceria com a

PETROBRAS, a qual utiliza o mesmo no controle e gerenciamento das variáveis envolvidas nas suas unidades de elevação de petróleo e gás natural, para análise de comunicação *ZigBee/Modbus* e do desempenho da rede em ambientes industriais.

Akhondi et al. (2010) expõe um estudo sobre o uso de RSSF em refinarias, plataformas de petróleo e gás e instalações de desenvolvimento de submarinos. O trabalho evidencia a RSSF que faz o monitoramento dos processos de produção com o intuito de prevenir ou detectar problemas de segurança por exemplo. Os nós sensores da rede foram utilizados para monitorar oleodutos, vazamentos de gás, condições dos equipamentos e status dos reservatórios em tempo real. Com os dados capturados pelos sensores, foi possível encontrar soluções inovadoras que auxiliaram as indústrias de petróleo e gás, melhorando a segurança das plataformas, otimizando as operações, e reduzindo custos operacionais.

Oliveira (2009) propôs a implementação de um software aplicado a um sistema de comunicação de uma RSSF, para monitoramento de variáveis analógicas, digitais e comando de válvulas de passagem do fluxo de gás em unidades de elevação artificial de petróleo e gás natural do tipo *Plunger-Lift*. A finalidade desta implementação, deve-se ao fato de que, na estrutura da planta estudada, os sensores comunicam-se com Controlador Lógico Programável (CLP) por meio de cabos e dutos, dificultando eventuais modificações nesse sistema, bem como mudanças de layout do mesmo, além de problemas que venham a surgir da própria natureza do local, como a presença de animais nas redondezas que tendem a destruir os cabos de interconexão dos sensores ao CLP. Foi aplicado o método de comunicação *polling*, por intermédio do protocolo SMAC (*Simple Medium Access Control* – padrão IEEE 802.15.4), no ambiente *CodeWarrior*, ao qual reproduziu um *firmware*, carregado nas placas de monitoramento da RSSF, presente no kit MC13193-EVK (todos os itens descritos acima são proprietários da *Freescale Semiconductors Inc.*). O monitoramento e parametrização da rede utilizou uma aplicação, desenvolvida no software *LabVIEW*, da *National Instruments*.

Lima (2013) realizou um estudo com testes e análises comparativas dos protocolos de roteamento (planos, hierárquicos e híbridos) comumente utilizados em RSSF baseados no padrão IEEE 802.15.4. Os protocolos, AODV e DSDV, LEACH e *ZIGBEE*, foram implementados em cenários distintos. Todos os quatro protocolos foram implementados no cenário de comunicação intercalada e comunicação simultânea, utilizando a ferramenta *Network Simulator 2 (NS-2)*, tomando como base

um meio físico com distâncias reais de tanques de uma refinaria, da Indústria de Petróleo e Gás Natural. O objetivo desses testes e análises comparativas foi apresentar, por meio de resultados gráficos e dados estatísticos, qual o protocolo que possuía o melhor desempenho no cenário proposto. Para fazer as comparações e definições de qual protocolo mostrava o melhor desempenho em cada cenário de comunicação, foram avaliados alguns parâmetros de QoS, como: o total de pacotes enviados, *jitter* e vazão. Ao final de todos os testes realizados, o protocolo que apresentou o melhor desempenho, tanto na comunicação intercalada como na simultânea, foi o protocolo *ZigBee*.

Savazzi et al. (2013), apresenta uma RSSF para aplicações industriais críticas, onde estão se tornando um modelo tecnológico notável. Nas zonas industriais de petróleo e gás, os sinais de rádio são predispostos à obstrução devido a estruturas metálicas densas, influenciando a proporção do sinal recebido e, assim, a QoS. Este trabalho examinou as tecnologias sem fio mais favoráveis para o monitoramento e controle destas redes em indústrias de petróleo e gás, e sugeriu um modelo de canal adaptado especificamente para prevenção da qualidade dos sinais de rádio em ambientes com alta densidade metálica, que dificultava a recepção do sinal. A solução proposta foi utilizar RSSF, que foi determinada por medições experimentais em áreas críticas de uma planta de refinaria de petróleo caracterizada por uma estrutura metálica altamente densa. Os resultados experimentais confirmaram a eficácia do método apresentado, proporcionando uma ferramenta prática que atendesse as expectativas em vários ambientes industriais.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este documento está dividido da seguinte forma: o Capítulo 2 retrata os conceitos básicos de RSSF e o seu uso na indústria de petróleo e, assim como seus atributos relevantes e funcionalidades. O Capítulo 3 apresenta as principais características das RSSF e tecnologias que a compõem, camadas, topologias e a arquitetura da rede de modo geral. O Capítulo 4 descreve o cenário de testes e as metodologias empregadas, parâmetros utilizados nas simulações, ferramentas utilizadas entre outros. No Capítulo 5 serão mostrados os gráficos gerados dos testes realizados, comparando os mesmos para avaliação de qual cenário o protocolo *ZigBee* obteve o melhor desempenho, seja, na comunicação simultânea

ou na comunicação intercalada. O Capítulo 6 apresenta as considerações finais sobre o trabalho.

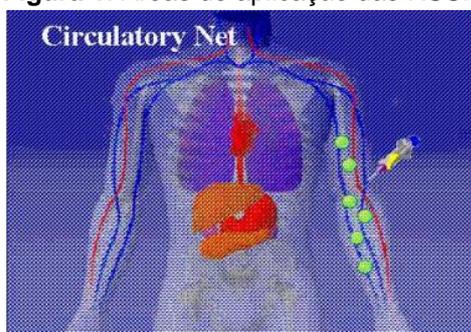
2 REDES DE SENSORES SEM FIO

Este capítulo retrata os conceitos básicos de RSSF e o seu uso na indústria de petróleo e, assim como seus atributos relevantes e funcionalidades. A finalidade é situar o leitor quanto ao tema tratado.

As RSSF são uma tecnologia fundamental, devido à procura de conectividade e fluxo de informação constante. Elas têm sido uma das áreas mais pesquisadas em sistemas de comunicação. Um dos principais objetivos dos cientistas é desenvolver RSSF tão robustas e eficientes quanto às redes cabeadas e com a mesma taxa de transmissão, podendo, assim, substituí-las em muitas ocasiões, já que a rede sem fio possui muitas vantagens sobre a rede cabeada (BRONZATTI, 2013).

RSSF compõem um conjunto de sensores distribuídos em um determinado ambiente, com o objetivo de monitorar, instrumentar e até controlar o meio físico em questão. Pelo fato desse tipo de rede ser formada de nós sensores, se utilizam ondas eletromagnéticas para se comunicarem, sem a necessidade de conexão física por cabo. As RSSF são tecnologias emergentes que tem significativa relevância, possuindo uma gama de aplicações, nas quais podem ser utilizadas em diversas áreas de atuação, como por exemplo, na área da saúde onde os sensores são introduzidos no corpo humano para monitorar condições físicas, na indústria automobilística e produção industrial, como mostra a Figura 1 a seguir (OLIVEIRA, 2012).

Figura 1: Áreas de aplicação das RSSF



(a) Área saúde



(b) Indústria automobilística



(c) Produção industrial

Fonte: AUTOENTUSIASTAS, 2012; LOUREIRO, [sd]

A implementação desse tipo de rede se tornou realidade devido à evolução tecnológica que permitiu a construção de sistemas fisicamente menores que propiciam um baixo custo e um menor consumo de energia. Por ser uma tecnologia que proporciona mobilidade física e uma alternativa viável a ser implementada em ambientes hostis, a área industrial é uma das mais predominantes para aplicações das RSSF, uma vez que a indústria possui muitos locais de acesso crítico (OLIVEIRA, 2012).

Mediante o surgimento de novas tecnologias, as indústrias, de modo geral, estão investindo muito em novas aplicações, visando à melhoria de suas atividades internas e buscando reduzir os custos, de forma a intensificar seu desenvolvimento, sem querer abrir mão da qualidade de suas operações (SILVA, 2006). Elevado custo com manutenções, maior consumo de energia, menos segurança e mobilidade são alguns fatores preponderantes que impulsionam as indústrias a optar pela substituição das redes com fio pelas redes sem fio. Estas, por sua vez, oferecem a possibilidade de serem instaladas em ambientes hostis, lugares de difícil acesso ao ser humano que seria inviável visitar constantemente para realizar manutenções (OLIVEIRA, 2012).

O perfil de uma RSSF é baseado no tipo da aplicação na qual esta rede foi elaborada para receber. Existem algumas características em comum a todas as

RSSF, porém, a maioria dos atributos é característica de cada aplicação, pois isso assegura a resolução dos problemas também específicos. Cada rede é implementada para um propósito distinto, dispondo de sensores apropriados para sua aplicação (LIMA, 2013).

São atributos comuns as RSSF: o endereçamento dos sensores, que dependem de suas funções e de como são utilizados; o número de sensores; a mobilidade dos sensores, os mesmos podem se deslocar durante a coleta de dados do sistema, sendo, portanto, classificados em móveis ou estáticos; e a agregação dos dados, que consiste na capacidade que a rede possui de coletar dados e reuni-los (OLIVEIRA, 2012).

O plano é adequar os dados ainda na rede antes de enviá-los para a estação de controle, diminuindo o número de mensagens enviadas e assim preservando mais recursos, o que aumenta a vida útil da rede. A auto-organização da rede se deve, ao fato, dela se adaptar a problemas que possam surgir, mas sem a necessidade de intervenções humanas. Essa adequação dos dados, também visa um menor consumo de energia pelos sensores, já que, na maioria dos casos, são instalados em locais de difícil acesso, tornando difícil sua manutenção ou, até mesmo, inviável de se fazer. Sendo assim também é necessário estudar qual a fonte de energia que alimentará os sensores (NAMBA, 2011).

Na indústria de petróleo, existem alguns campos de atuação em que as RSSF operam de forma mais ativa, como por exemplo, o monitoramento em tempo real de processos de controle e a segurança.

Durante o monitoramento em tempo real, os processos de uma indústria de petróleo podem ser controlados remotamente através de recursos vindos de plataformas que utilizam as RSSF, possibilitando uma redução ou eliminação de custos com manutenções. Assim sendo, para conseguir alta produtividade, estas plataformas devem operar constantemente devido aos altos custos de infraestrutura que elas ocasionam para a empresa.

O monitoramento e a aquisição dos dados em tempo real utilizando uma RSSF podem possibilitar à indústria a exclusão ou redução de tempo gasto com manutenção e/ou quebra de equipamentos, proporcionando assim, economias e melhor gestão de energia, de modo que com essa estrutura de monitoramento, o operador terá uma visão ampliada do estado geral da plataforma, e poderá assim tomar as medidas de prevenção conforme julgue necessário (SOBRAL, 2012).

Na maioria dos casos, o monitoramento remoto na indústria de petróleo, pode prevenir que eventuais falhas sejam percebidas com antecedência garantindo o bom funcionamento dos equipamentos, para otimização de suas atividades internas, tendo algumas aplicações importantes, tais como: monitoramento do nível do tanque em uma refinaria, que geralmente é medido na base inferior do tanque através da pressão exercida pelo líquido (FAÇANHA, 2007); monitoramento da integridade física dos dutos e; monitoramento da válvula de alívio, que serve para aliviar a pressão nestes sistemas (CAVALCANTE et al., 2012).

Com relação à segurança, nas indústrias de petróleo, são produzidos durante os processos de exploração do petróleo, diversos gases tóxicos como, por exemplo, o Amoníaco (NH_3), o Dióxido de Enxofre (SO_2) e o Sulfeto de Hidrogênio (HS_2). Este último é considerado um produto útil e bastante comum, porém ocasiona alguns problemas de saúde ao ser humano.

Nas refinarias, o HS_2 deve ser transportado entre os gasodutos até as oficinas de tratamento, de modo que, são imprescindíveis os cuidados com os vazamentos nestes gasodutos, pois a liberação e conseqüentemente provável inalação deste gás causará fortes impactos negativos de saúde e também ao meio ambiente. As causas destes vazamentos podem ser originárias de corrosão, danos intencionais, deformações físicas causadas por abalos ou tremores, e falhas materiais.

O contato com HS_2 poderá causar alguns sintomas de mal estar, como irritação, dores de cabeça e tonturas. Defini-se por ser um gás incolor, inflamável e perigoso. Quando inalado em altas quantidades poderá trazer danos ao sistema nervoso e em casos mais graves levar a morte. Com relação ao meio ambiente, ele pode causar danos irreversíveis ao sistema ecológico. Um exemplo seria a inserção do H_2S em solução aquosa, que alteraria o valor de PH, e resultaria em um desequilíbrio ecológico entre os micróbios e espécies aquáticas.

Desta forma, é importante o uso das RSSF neste âmbito para fazer a monitorização dos processos de H_2S durante os processos de exploração de petróleo, pois todos os problemas apresentados pela liberação deste gás são suficientemente significativos para que medidas de prevenção sejam tomadas a fim de ser evitar maiores prejuízos aos seres humanos e ao meio ambiente (SOBRAL, 2012).

Outro caso, em que se pode aplicar RSSF na área de segurança e, que pode ser aproveitada no ambiente de uma refinaria é a utilização de sensores de imagem e sensores acústicos, em que estes estariam implantados em um mesmo nó sensor ou em nós sensores diferentes. Para esta situação, a rede coleta dados do tipo: imagens, vídeos e áudio. Nesta aplicação, existem duas características importantes, que é o grande volume de dados que trafegarão pela rede e a frequência de coleta de dados.

O fato de alguns nós sensores terem a função de fazer o processamento das imagens coletadas, implica que estes nós tenham dimensões maiores do que as dos nós microssensores, isso porque as operações de processamento de imagens requerem um esforço maior, pois consomem muitos recursos, uma quantidade de memória maior, e conseqüentemente, consome mais energia. Esta aplicação permite que as imagens e sons capturados possam servir como fonte de segurança para situações em que se faz necessário monitorar o ambiente visualmente, com o intuito de se defender de possíveis roubos (LOUREIRO et al.).

Além da segurança física em relação aos equipamentos e componentes, a segurança dos dados da rede deve ser levada em consideração. O fato de uma RSSF possuir uma comunicação móvel e de natureza autônoma, abre espaço para eventuais ataques de usuários mal intencionados que podem se infiltrar na rede a fim de espionar, interceptar, modificar ou, até mesmo, roubar os dados da rede, podendo alterar a chave de segurança e colocar em risco a confidencialidade e integridade dos dados, o que traria prejuízos significativos para a plataforma como um todo (OBODOEZE et al., 2012).

Em virtude dos fatos mencionados, é notório que o avanço tecnológico permitiu a construção de sistemas fisicamente menores, proporcionando menos custos e mais mobilidade na realização de suas tarefas. A partir daí, estimulou-se a utilização de sensores conectados a uma rede sem fio para resolver os mais variados problemas.

Percebe-se que as RSSF estão ganhando espaço significativo em diversas áreas do conhecimento como, por exemplo, no setor industrial, onde a indústria está abolindo o uso de fios, devido ao alto custo com manutenções, consumo de energia, com segurança e mobilidade, motivo esse que impulsionam a indústria a escolher as RSSF.

3 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA REDE DE SENSORES SEM FIO E TECNOLOGIAS.

Este capítulo apresenta as principais características das RSSF e tecnologias que a compõem, sendo feita uma abordagem sobre a arquitetura das RSSF, desde o padrão IEEE 802.15.4, que é um padrão utilizado para se trabalhar com RSSF, até as topologias que atuam nestas redes e o protocolo utilizado.

Atualmente, as RSSF estão sendo implementadas como uma solução viável para resolução ou precaução de problemas. É uma tecnologia em desenvolvimento que vem revolucionando os sistemas embarcados e desencadeando um novo conjunto de aplicações potenciais, incluindo monitoramento ambiental, espaços inteligentes, área científica, área médica e demais áreas de atuação. Para o funcionamento desse tipo de rede alguns fatores são de extrema importância (OLIVEIRA, 2012). A seguir, uma breve explicação sobre cada elemento e sua finalidade:

- **Sensor:** dispositivo que converte um dado fenômeno físico específico, em um sinal elétrico que será manipulado por outros equipamentos.
- **Nó sensor:** em uma RSSF é o principal elemento, constituído por memória, processador, bateria, unidade de rádio e os sensores.
- **Gateway:** aparelho responsável por receber dos nós sensores as informações coletadas, ou as informações do estado da rede. Além disso, pode realizar requisições e enviar comandos para a rede.
- **Estação Base:** é representado por uma máquina, mais precisamente um computador, que se comunica com o *gateway* e armazena os resultados em um banco de dados para disponibilizá-los para os usuários.
- **Atuador:** corrige falhas ou controla o objeto monitorado através da modificação de valores no ambiente.
- **Sink:** é o nó responsável por coordenar e concentrar as informações que recebe dos nós sensores, e enviá-las para o *gateway*.

Para que seja instalada e configurada em um determinado local, alguns pontos básicos de como planejar a rede para uma aplicação devem ser levados em consideração, baseado nas características que esta tecnologia oferece.

3.1 CARACTERÍSTICAS DAS REDES DE SENSORES SEM FIO

- Escalabilidade: a comunicação sem fio é essencial para a escalabilidade. Visto que, a instalação e manutenção de um sistema de monitoramento com uma rede de comunicação com fio, resultariam em altos custos e uma complexidade gerada por uma grande quantidade de nós. Uma rede escalável é aquela que pode ser expandida em termos do número de sensores, se a aplicação aumenta, a rede deve ser suficientemente flexível para permitir esse crescimento em qualquer lugar e a qualquer momento, sem afetar o desempenho da rede (PAKZAD et al., 2008).
- Auto-organização: Ao contrário das redes tradicionais, as redes de sensores têm de lidar com os recursos que são dinâmicos, como energia, largura de banda e poder de processamento. Por isso, as RSSF auto-organizáveis estão se tornando uma realidade em aplicações residenciais, comerciais, médicas, militares, e industriais. Neste tipo de rede os elementos interagem apenas entre si localmente, de modo que, a ideia é levar as redes a serem menos dependentes de um controle centralizado, visando maior escalabilidade, robustez e serem mais adaptáveis (FIGUEIREDO et al., 2007).
- Eficiência energética: com relação às RSSF o consumo de energia é um dos principais elementos para o tempo de vida útil da rede. Algoritmos e técnicas de roteamento são importantes, pois pode estabelecer a quantidade de dados que transitara na rede, que influenciará diretamente no consumo de energia do transmissor destes dados. Vale resaltar, que nós com maior volume de transmissão de informação podem esgotar suas baterias com maior facilidade. Uma alternativa para isso seria aproveitar a energia restante dos nós que possuem menos atividade de roteamento, ou seja, tem baixo consumo de energia, para dividir as atividades de roteamento com eles, desse modo, poder balancear o consumo de energia da rede (COAN, 2012).
- Conectividade: no que diz respeito à conectividade dos nós em uma RSSF, eles possuem recursos reduzidos, e na maioria dos casos atuam em ambientes hostis ou inóspitos. Deslocamentos, interferência na comunicação e falhas frequentes destes nós, fazem com que a topologia da rede oscile dinamicamente, afetando assim a conectividade da mesma, causando

alterações e perda de dados. A ausência de uma topologia na rede leva toda a rede a se fragmentar em pedaços, que se separam uns dos outros, tornando-se estas sub-redes inoperantes, devido serem incapazes de se comunicar com o nó *sink*, que é o mecanismo encarregado por fazer a comunicação entre a rede externa e RSSF, conseqüentemente, não permitindo que os dados sejam enviados para estação base (SILVA, 2006).

- Baixo Custo: os gastos na implantação de uma RSSF podem ser reduzidos, dado que na sua constituição física, fios e conduítes são irrelevantes. É importante frisar, que grande parte das aplicações na área das RSSF, é arquitetada sob-redução de largura de banda e energia. Estas reduções estabelecem que mecanismos de aquisição de dados a tipos de dados de baixa largura devam ser limitados, de modo que, a quantidade de dados transferidos pela rede seja pequena, para que não comprometa o processamento de dados internamente no nó e a autonomia da energia. Por isso, é importante que as RSSF sejam projetadas levando em consideração os gastos, devido elas operarem com poucos recursos (SILVA; FRUETT, 2010).

3.2 ARQUITETURA DAS RSSF: PADRÃO DE COMUNICAÇÃO, CAMADAS, DISPOSITIVOS E TOPOLOGIAS

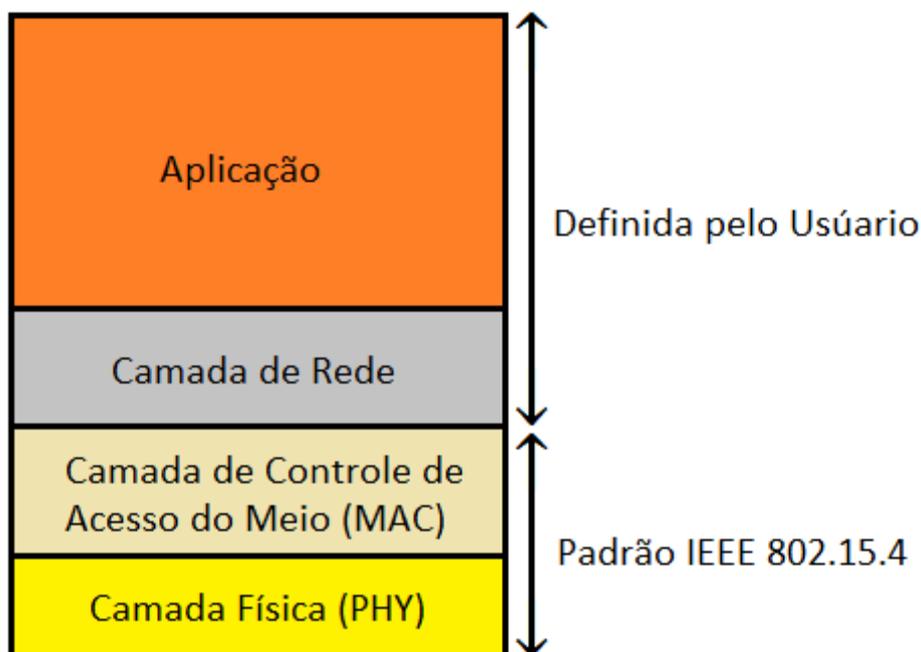
3.2.1 Padrão de Comunicação IEEE 802.15.4

As RSSF possuem atributos incomuns, pelo fato de serem redes que funcionam com baixas taxas de transmissões, devido a sua estrutura física, terem recursos limitados de energia. Devido a sua fácil implantação e a utilização cada vez mais comum de RSSF, o IEEE 802.15.4 vem se tornando um padrão bastante atrativo por ser baseado em RSSF, sendo muito utilizadas em aplicações comerciais, mais precisamente aplicações industriais. Outra importante característica é que o padrão se adapta com eficiência em RSSF, onde os sensores são projetados para suportar comunicação entre curtos intervalos e com baixa taxa de transmissão, além de ter que consumir pouca energia (OLIVEIRA, 2012).

O padrão IEEE 802.15.4 transformou-se em um padrão de confiança e boa aceitação, bem reconhecido pelas empresas de tecnologias, e, portanto, bem aceito

pelos seus usuários. É um padrão em que seus produtos estão disponíveis comercialmente a um baixo custo. Além disso, ele fornece especificações apenas para a camada física (*Physical – PHY*) e a camada de controle de acesso ao meio (*Medium Access Control - MAC*), como mostra a Figura 2 (CHEN et al., 2009).

Figura 2: Camadas de comunicação padrão IEEE 802.15.4



A seguir, algumas das principais características do padrão IEEE 802.15.4 (IEEE, 2003):

- Taxa de transmissão de dados de 250 kbps, 40 kbps e 20 kbps;
- Topologia estrela e ponto-a-ponto;
- Endereçamentos de 16 bits ou 64 bits;
- Alocação de *slots* garantidos no tempo (*Guaranteed Time Slots – GTS*);
- Acesso ao canal implementado com *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA-CA)*;
- Baixo consumo de energia, (após a transmissão, os dispositivos entram em *stand-by* reduzindo, assim, o consumo de energia);
- Detecção de energia (*ED – Energy Detection*);
- Indicação da qualidade da conexão (*Link Quality Indication – LQI*);

- 16 canais na banda de 2,4 Ghz, 10 na banda de 915 Mhz e 1 na banda de 868 Mhz.

Além disso, existe um detalhe a ser considerado, é que o padrão IEEE 802.15.4 em uma RSSF, não pode ser utilizado sozinho, sendo necessária a implementação de um protocolo de rede, que tem por função garantir a entrega das mensagens para nós que se encontrem distantes uns dos outros (OLIVEIRA, 2009). Dessa forma, é necessário à escolha de um protocolo, para que a comunicação na rede possua o melhor desempenho possível.

3.2.2 Camadas

Diante do que foi apresentado no tópico anterior, o padrão IEEE 802.15.4 determina duas camadas de baixo nível, a camada física (PHY) e a camada de controle de acesso ao meio (MAC).

3.2.2.1 Camada física (PHY)

Esta camada é responsável pela conexão estabelecida. A camada PHY define as características físicas e elétricas da rede, por exemplo, especificar a sensibilidade do receptor e transmissão de saída (a fim de estar em conformidade com as regulamentações nacionais) de potência. A principal tarefa desta camada é a transmissão e recepção de dados, e no nível físico/elétrico, este envolve a modulação, criptografia de dados, detecção de sinal e técnicas de espalhamento que mapeiam bits de informação, de modo a permitir a sua movimentação através de ondas eletro magneticas (HOSSSEN et al., 2010).

O padrão IEEE 802.15.4 fornece dois padrões de camada física, onde que, ambos operam dentro de faixas liberadas do espectro de frequências (Faixa ISM - *Industrial, Scientific, Medical*). Um dos padrões funciona na faixa de 2,4 GHz. O outro padrão funciona com duas faixas de frequência, 868 e 915 MHz, sendo utilizadas na Nova Zelândia, Austrália, Europa e América do Norte (IEEE, 2003). A tabela 1 a seguir, exhibe algumas especificações da camada física.

Tabela 1: Camada física especificação

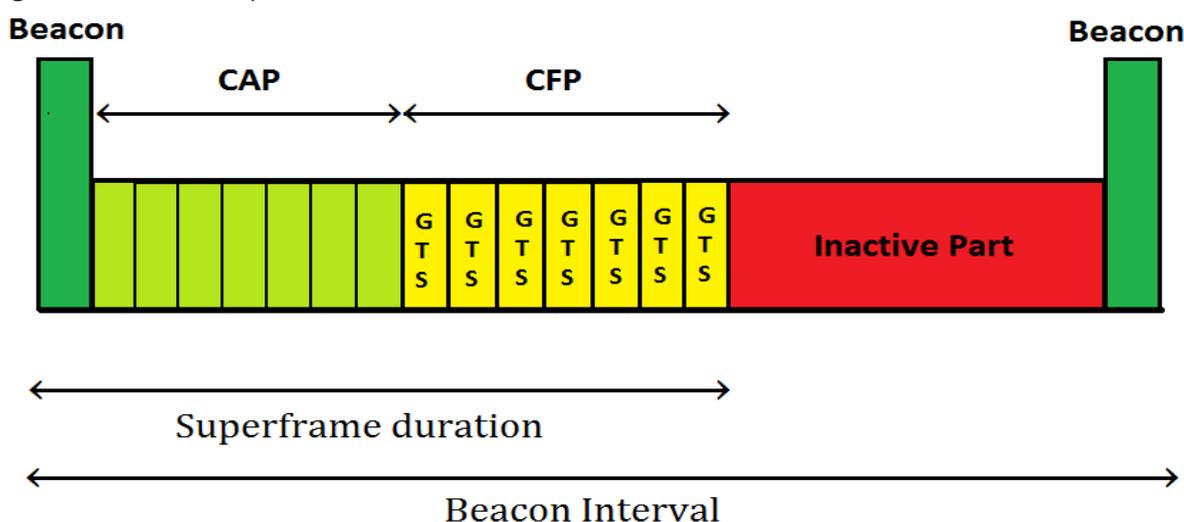
	2450Mhz	915Mhz	868Mhz
Máxima taxa de transmissão	250kbps	40kbps	20kbps
Número de canais	16	10	1
Modulação	O-QPSK	BPSK	BPSK
Bits por símbolo	4	1	1

3.2.2.2 Camada MAC

A camada de acesso ao meio (MAC) tem o papel de realizar a comunicação entre cada nó. Esta camada também é responsável pelo controle do acesso ao canal de rádio, fornece manutenção e sincronização da rede, além de oferecer mecanismos de gerenciamento e segurança dos dispositivos, prover uma comunicação confiável entre duas entidades (MOREIRA, 2012). A camada MAC tem por objetivo, editar os dados que são recebidos pela camada física, processá-los e depois encaminhar esses dados para a camada de rede (IEEE, 2003).

Com relação ao tráfego de dados na rede para evitar colisões entre o emissor e receptor, pode ser utilizado o protocolo CSMA/CA, que é um protocolo de acesso ao meio, onde um nó sempre monitora o meio sem fio para determinar se ele está ocioso ou ocupado. Se o meio estiver livre, a mensagem é enviada, caso não esteja livre, não vai transmitir; uma vez que irá causar uma colisão. Então, o dispositivo espera um tempo, até que o canal esteja totalmente livre para poder enviar a mensagem (MOREIRA, 2012).

Com o objetivo de monitorar a transmissão de dados entre os nós na rede, a camada MAC faz uso de sinalizadores, onde o tempo do canal é dividido em várias seções conhecidas como *superframe*, o qual é constituído por um período ativo, quando a comunicação ocorre, e um período inativo, no qual os dispositivos podem se desligar para economizar energia, ou então se ocupa de outras tarefas para não desperdiçar energia. O período ativo é responsável pela comunicação, ele é dividido em vários *slots* com dimensões iguais (OLIVEIRA, 2009). A figura 3 mostra a estrutura de um *superframe*.

Figura 3: Estrutura *superframe*

3.2.3 Dispositivos

Nas RSSF, os dispositivos podem ser observados do ponto de vista físico ou lógico. Do ponto de vista físico, os dispositivos são identificados conforme suas funções. Os dispositivos com funções completas são chamados de FFDs (*Full Function Device*), enquanto os dispositivos com funções reduzidas são os RFDs (*Reduced Function Device*).

Os dispositivos FFDs podem atuar de várias formas dentro da rede, como um coordenador ou servir como um coordenador da rede pessoal, podendo fazer parte de qualquer topologia de rede e exercer qualquer tipo de função. Devido a sua complexidade ou a função que desempenha na rede, são dispositivos que consomem muita energia e podem efetuar a comunicação com qualquer tipo de nó.

Já RFDs é destinado a aplicações que são muito simples, como um interruptor de luz ou um sensor infravermelho. Eles não têm a necessidade de enviar grandes quantidades de dados e só podem se comunicar com um único FFDs de cada vez. Portanto, o RFDs pode ser implementado usando o mínimo de recursos, capacidades de memória e consomem pouca energia. Estes dispositivos podem ser analisados do ponto de vista lógico podendo assumir várias funções, tais como: roteador, coordenador, e dispositivo final.

- Roteador: este dispositivo amplia a cobertura da rede, de forma dinâmica sem necessariamente a presença de um coordenador, pois este dispositivo

armazena as informações da rede, e conforme a informação coletada traça a rota correta para o tráfego de dados na rede. O roteador pode ser representado por um dispositivo apenas do tipo FFD.

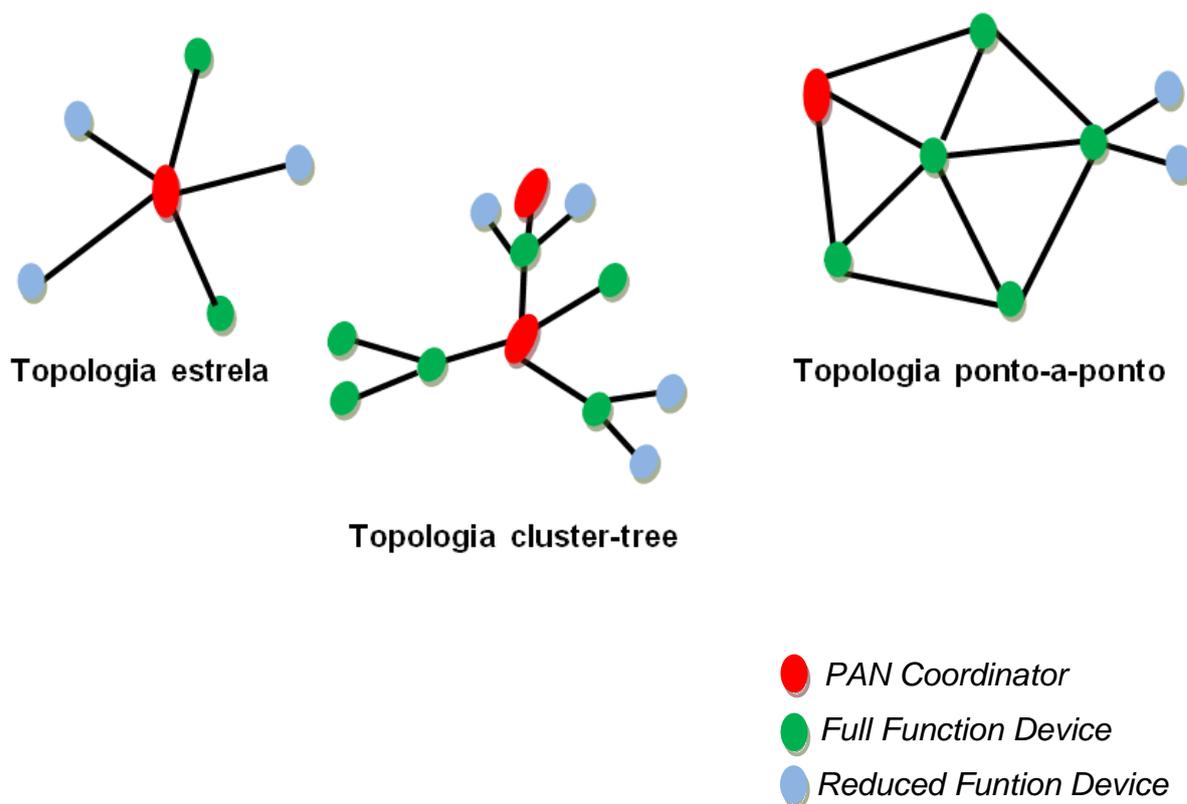
- Coordenador: este dispositivo fornece o canal de comunicação e o número lógico para formar a rede atuando como um centro de confiança. Além disso, permite que roteadores e dispositivos finais se incorporem à rede. Assim como o roteador, pode ser representado apenas por um FFD.
- Dispositivo final: este tipo de dispositivo pode tanto transmitir, quanto receber mensagens, porém, não pode realizar quaisquer operações de roteamento. Sua comunicação ocorre apenas com o roteador ou com o nó coordenador, além disso, diferente dos demais dispositivos, este, pode ser tanto um FFD como um RFD, de modo que o RFD é melhor por consumir menos energia com o FFD.

Com relação aos FFD e RFD, a comunicação mais vantajosa é a que se faça presente com um ou mais FFDs coordenando as atividades, ou então vários RFDs em uma comunicação ponto-a-ponto ou em uma topologia estrela. Porém, este tipo de topologia precisa que todos os nós estejam dentro da área de cobertura da rede. Por isso, é necessário a utilização de um protocolo de rede rodando nas RSSF, visto que, o padrão IEEE 802.15.4 não pode trabalhar sozinho, pois, não garante a entrega das mensagens para os nós que estão distantes uns dos outros, sendo essa, uma função do protocolo (OLIVEIRA, 2009).

3.2.4 Topologias

No padrão IEEE 802.15.4, encontra-se duas topologias básicas de rede determinadas que podem ser empregadas para atuar no ambiente dependendo da aplicação utilizada: topologia estrela e a topologia ponto-a-ponto. Uma terceira topologia, conhecida como *cluster-tree*, pode ser considerada como um caso particular de uma topologia ponto-a-ponto (VAN NIEUWENHUYSE et al., 2006). Como ilustrado na figura 4 a seguir:

Figura 4: Topologias de rede do padrão IEEE 802.15.4



A opção pela topologia adequada para a rede depende de vários elementos, assim como: quantidade e frequência dos dados a serem transmitidos, requisitos da vida útil das baterias, distância física da transmissão, mudanças dos nós sensores e o nível de mobilidade dos dispositivos da rede. A seguir, uma breve explicação das duas topologias utilizadas pelo padrão IEEE 802.15.4 e a topologia *cluster-tree*, que é resultante da topologia ponto-a-ponto.

- **Topologia Estrela:** nesta topologia links de comunicação são estabelecidos; todos os nós da RSSF estão dentro da área de cobertura, que geralmente varia de 30 a 100 metros até a estação base, que pode ser um computador, um dispositivo de monitoramento dedicado, ou qualquer outro dispositivo de entrada para uma taxa de dados elevada. Nesta topologia, todos os nós são idênticos e a estação base serve para comunicação de dados e comandos para os pontos de extremidade do sensor, além de transferir os dados para um sistema de alto nível, como por exemplo, a internet (SOHRABI et al., 2000).

- **Topologia Ponto-a-Ponto:** os dispositivos se comunicam uns com os outros dentro de sua faixa de cobertura. O primeiro dispositivo a se comunicar com o canal é chamado de coordenador da rede. Essa topologia também pode permitir formações de redes mais complexas a serem implementadas, como a topologia de rede em malha (IEEE, 2003).
- **Topologia *Cluster-Tree*:** nesta topologia os coordenadores (FFD) dos *clusters* constituem uma estrutura de árvore, e agem como intermediários agregadores e roteadores de dados entre diferentes dispositivos. Cada roteador é um ponto de associação para outros roteadores e um número de dispositivos finais (RFD), que não participam de roteamento (CUOMO et al., 2008). Nesse modelo de árvore, cada nó sensor é conectado a um nó sensor de menor distância, chamado de nó pai, que pode ser conectados a mais de um nó em profundidade superior, chamados de nó filho (JURCÍK et al., 2008).

Os nós que são implementados no ambiente a ser monitorado, utilizam instrumentos para a implementação da topologia. Durante o tempo de duração da rede, é normal que alguns destes nós falhem por falta de energia ou por interferências externas, conseqüentemente, modificando a topologia da rede causando alterações na sua formação, tornando-se assim uma topologia denominada dinâmica. Dessa forma, a qualquer momento a função de descoberta da topologia será utilizada (LOUREIRO et al.).

3.3 PROTOCOLO DE ROTEAMENTO UTILIZADO EM RSSF APLICADO AO CENÁRIO DE SIMULAÇÃO ESCOLHIDO

O protocolo de roteamento para RSSF deve ser capaz de lidar com um número elevado de dispositivos e equipamentos com recursos limitados. O principal desafio de um protocolo de roteamento é que ele tem que lidar com a questão da mobilidade dos nós sensores, pois estes nós podem entrar ou sair da RSSF, inclusive mudando o layout da rede, o que pode prejudicar a conectividade da rede como um todo. Por isso, o protocolo utilizado deve reduzir a sobrecarga no roteamento das mensagens para que, mesmo com o aumento do número de *hosts* e da mobilidade, a conectividade da rede não seja afetada (HUHTONEN, 2004).

3.3.1 Protocolo *ZigBee*

O trabalho de Lima (2013) mostrou que o protocolo de comunicação *ZigBee* é o mais adequado a cenários da indústria de petróleo, o que justifica a escolha deste protocolo para o estudo da aplicação de uma RSSF no cenário estudado no presente trabalho.

O protocolo *ZigBee* foi desenvolvido pela *ZigBee Alliance*, que é um grupo de empresas que trabalharam em colaboração para desenvolver protocolos de rede que podem ser utilizados em diversas aplicações. O *ZigBee* é uma especificação para um conjunto de protocolos de comunicação de alto nível. É uma tecnologia típica de comunicação sem fio, além de utilizar baixa taxa de transmissão, rádios digitais de baixa potência. A principal vantagem desta tecnologia, é que ela oferece um baixo consumo de energia na ausência de transmissão e maior vida útil da bateria.

A tecnologia definida pela especificação *ZigBee*, destina-se a ser mais simples e menos caras do que outras, tal como o *Bluetooth*. Ele é um protocolo destinado a aplicações que trabalham com pouca taxa de dados, além de possuir bateria de longa duração, e redes seguras. O *ZigBee* se caracteriza por ser um padrão de protocolo com *firmware* atualizado remotamente, totalmente sem fio e baixa potência, malha líquida trabalhando para operar com baterias, baixa manutenção e maior tamanho de rede com alto padrão de segurança (LAKHE, 2012).

Os dispositivos na especificação *ZigBee* podem ser usados como dispositivos finais, roteadores ou coordenadores. O protocolo *ZigBee* tem um mercado bastante promissor para diversas aplicações, como, por exemplo: área da saúde com relação à monitoração de pacientes; controle de processos industriais; medições automáticas na área de automação predial; controles remotos eletrônicos e; monitoramento ambiental. Uma vez que o protocolo *ZigBee* utiliza o padrão IEEE 802.15.4 para definir a camada física (PHY) e camada de enlace (MAC), e as demais camadas, o próprio *ZigBee* é quem as definem (MOREIRA, 2012).

4 A HISTÓRIA DO BIODIESEL: APLICAÇÃO E METODOLOGIA

Este capítulo apresenta uma breve explicação sobre a História do Biodiesel e da Refinaria Potiguar Clara Camarão, e processos de produção do Biodiesel, como também, a ferramenta utilizada para realização dos testes e parâmetros de QoS.

De acordo com SANTO (2008) o primeiro motor a diesel funcionou eficientemente em agosto de 1893, criado pelo engenheiro alemão Rudolf Diesel, em Augsburg, Alemanha, de onde surge o nome do combustível. Em 1898, o motor foi exibido inicialmente na Feira Mundial de Paris. O combustível utilizado na época foi o óleo de amendoim, através do mesmo processo, a transesterificação.

Rudolf Diesel fez a seguinte afirmação: O motor a diesel pode ser alimentado por óleos vegetais, e ajudará o desenvolvimento agrário dos países que vierem a utilizá-lo (...). O uso de óleos vegetais como combustível pode parecer insignificante hoje em dia, mas com o tempo irão se tornar tão importante quanto o petróleo e o carvão são atualmente (ANFAVEA, 2008).

No Brasil, o engenheiro químico e professor universitário da Universidade Federal do Ceará (UFC- Fortaleza, CE), Expedito José de Sá Parente, natural de Fortaleza (Ceará) criou, em 1977, o processo de obtenção de um novo combustível que soava promissor naqueles tempos de crise do petróleo. Batizado de pró-diesel, o combustível consistia num óleo extraído de gorduras animais e vegetais. A inspiração para criação veio de uma planta, o Ingá, mas foi nos laboratórios da UFC, que nasceu o biocombustível (TEXEIRA et al., 2010).

4.1 BIODIESEL: DEFINIÇÃO E PROCESSOS DE PRODUÇÃO

O biodiesel é um combustível renovável derivado de óleos vegetais, gorduras animais e óleos e gorduras residuais, que pode ser obtido de diferentes processos tais como o craqueamento, a esterificação e a transesterificação (ANP, 2004).

4.1.1 Processo de craqueamento

É um processo de transformação química que ocasiona a ruptura das moléculas por aquecimento, aproximadamente 450°C, na ausência de ar ou oxigênio, transformando pedaços de cadeias carbônicas maiores em pedaços com

cadeias carbônicas menores, formando uma combinação de compostos químicos com características muito próximas às do diesel de petróleo (MEDEIROS, 2013).

4.1.2 Processo de esterificação

Trata-se de uma reação química de um ácido graxo (ácido carboxílico) e a glicerina (triálcool) com formação de éster (metílico ou etílico) e saída de água. Na reação, são aplicados compostos químicos com pequeno teor molecular, como a ocorrência de álcool ou etanol. Esse procedimento utiliza algumas matérias-primas disponíveis e de baixo custo. Como sedimentos relacionados à agroindústria (ácido graxo resultante do refino de óleos vegetais, gorduras animais), óleos usados (GOMES, 2009).

4.1.3 Processo de transesterificação

O procedimento mais usado, hoje em dia, na produção de biodiesel é a transesterificação, que é uma mistura dos óleos vegetais ou gorduras animais com o etanol ou álcool comum, estimulada por um catalisador (substância que acelera o processo químico), onde ao final o óleo é filtrado e separado da glicerina, subproduto com diversas aplicações na produção de cosméticos como, xampus, sabonetes, cremes hidratantes entre outros (MEDEIROS, 2013).

4.2 AS PRINCIPAIS ESPÉCIES DE OLEAGINOSAS PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL E ÁREAS DE PRODUÇÃO.

O Brasil possui uma grande vantagem em relação a outros países produtores, visto que, apresenta uma enorme extensão territorial e uma flora com cerca de 50.000 a 60.000 espécies. Por sua diversidade biológica, o país dispõe de inúmeras espécies com capacidade para produção de biodiesel (MEDEIROS, 2013). Algumas das principais fontes são: a soja, o pinhão-mansão, a macaúba, a palma, o girassol, o dendê, a canola, o babaçu, o coco e a mamona. Apresentado na tabela 2.

Tabela 2: Regiões produtoras de oleaginosas

Região	Oleaginosas
Norte	Dendê, babaçu, soja, palma.
Nordeste	Babaçu, soja, pinhão-manso, mamona, dendê, algodão e coco.
Sudeste	Mamona, soja, macaúba, girassol e amendoim.
Sul	Milho, soja, canola, girassol e algodão.
Centro-oeste	Algodão, mamona, soja, girassol, dendê.

Fonte: PARENTE (2003); BIODISELBR.COM (2014)

4.3 CENÁRIO DE TESTES E METODOLOGIA UTILIZADA

O cenário real escolhido para realizar as simulações desta pesquisa consiste em um ambiente onde a instalação de Redes de Sensores Sem Fio vem sendo constantemente utilizada, devido a facilidade de manutenção e do baixo custo operacional, quando comparada às redes cabeadas (AKHONDI et al., 2010). O ambiente escolhido foi uma refinaria de petróleo. A figura 5 do próximo tópico ilustra o ambiente escolhido para realização dos testes.

4.3.1 História da Refinaria Potiguar Clara Camarão (RPCC)

Para o ambiente de simulação e execução dos testes, foi escolhida a Refinaria Potiguar Clara Camarão que, no dia 1º de outubro de 2009, como parte complementar do Polo Petroquímico de Guamaré, o Rio Grande do Norte passa a acomodar formalmente mais uma Unidade de Operações da Petrobras. É a primeira refinaria com nome de mulher no Brasil, e um tributo à índia Brasileira que se casou com chefe da tribo potiguar, e dele veio o sobrenome Camarão.

A índia Clara Camarão tornou-se protagonista da história do Rio Grande do Norte ao comandar um bando de nativas na briga contra os holandeses durante a época da colonização. A batalha ocorreu na cidade de Porto Calvo no ano de 1637 (PETROBRAS, 2014).

A refinaria possui uma área produtiva total de aproximadamente 31 km². No primeiro trimestre de 2010 a RPCC recebeu incentivos do Governo Federal, com o objetivo de produzir 21 mil m³ de gasolina, 45 mil m³ de diesel, 7.500 m³ de QAV,

11.700 m³ de GLP e 3 mil m³ de nafta petroquímica, também existem duas plantas de produção de biodiesel. A primeira com capacidade para processar 10 mil toneladas/ano de biodiesel. A segunda planta, também com capacidade para 10 mil toneladas/ano (PETROBRAS, 2009).

Figura 5: Polo Petroquímico de Guamaré/RN. Em destaque: Refinaria Potiguar Clara Camarão



Fonte: GOOGLE EARTH, 2014

4.3.2 Ambiente de Monitoramento

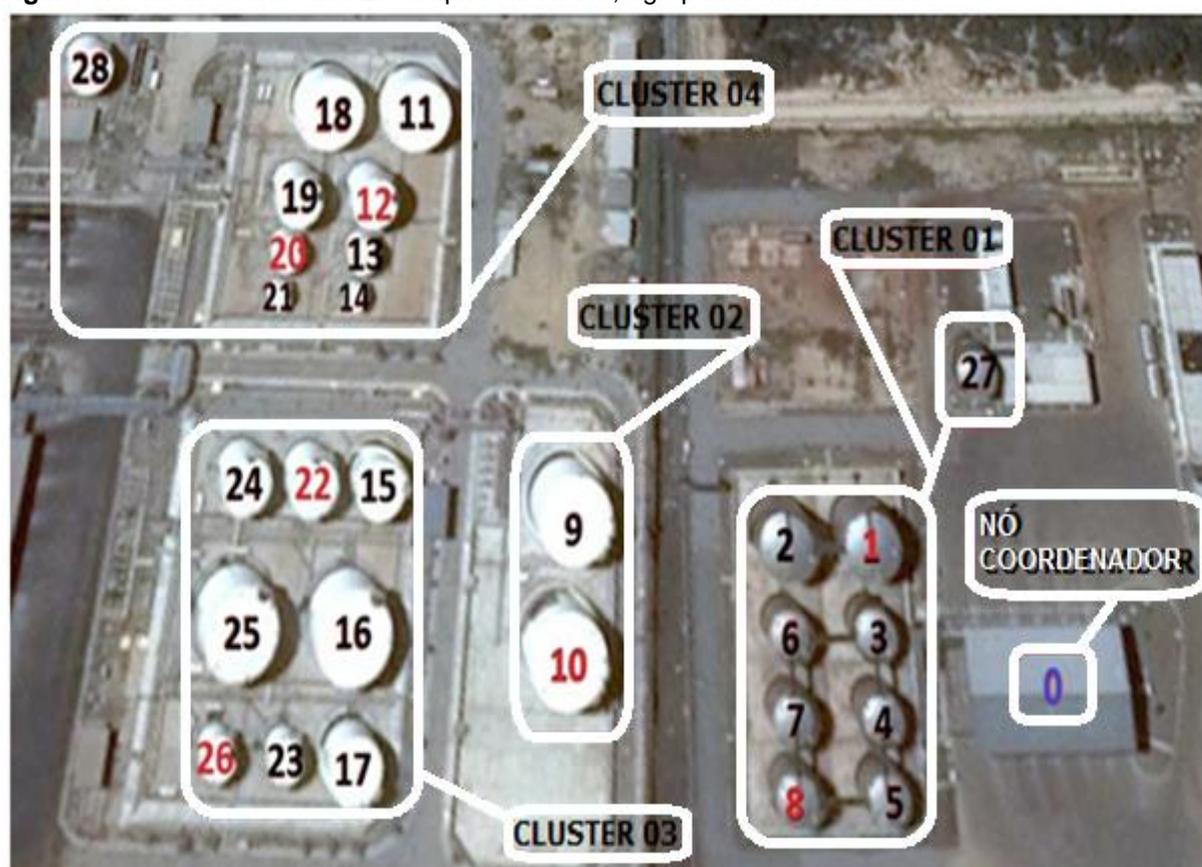
Os tanques de uma refinaria de petróleo são ambientes instáveis, pois, estão propensos a altas temperaturas, além disso, pressão, vazão e temperatura são variáveis que podem causar prejuízos consideráveis quando não tratados corretamente. O gerenciamento destas três variáveis nos tanques de uma refinaria é fundamental para garantir que a planta se mantenha sob condições ideais de produção, pois se os limites de temperatura, pressão ou vazão, forem ultrapassados em um tanque que armazena algum produto químico, as consequências e riscos de explosões, incêndios e vazamentos, aumentam substancialmente (FREITAS, 2000).

Com o propósito de amenizar possíveis riscos a estes tanques e, conseqüentemente, a todo o ambiente industrial aos quais os tanques foram instalados, este trabalho apresenta a simulação de uma RSSF com o protocolo de roteamento *ZigBee*, cujo objetivo é realizar o monitoramento das variáveis de

temperatura, vazão e pressão, em cenários de monitoramento simultâneo e intercalado destes tanques, permitindo que os dispositivos inteligentes (nós sensores) instalados nos tanques se comuniquem entre si, de modo a receber e processar, em tempo real, todas as informações pertinentes ao meio físico em que estão inseridos os nós que farão a coleta de dados. Em caso de alguma instabilidade das variáveis mensuradas, há uma chance de correção remota imediata, evitando assim, possíveis prejuízos (OLIVEIRA, 2009).

A figura 6 a seguir, ilustra o cenário completo da simulação, onde todos os tanques foram numerados de acordo com os nós distribuídos no ambiente de simulação.

Figura 6: Foto de satélite dos 28 tanques da RPPC, agrupados em 4 *clusters*



Fonte: GOOGLE EARTH, 2014

Percebe-se que a refinaria é composta de 28 tanques, onde todos os tanques foram numerados de acordo com os nós distribuídos no local da simulação. Os sete nós monitorados encontram-se em destaque, com números vermelhos e em negrito. São eles os nós 1, 8, 10, 12, 20, 22 e 26. A ideia é monitorar os nós das

extremidades de cada *cluster* de tanques, com o intuito de se verificar a comunicação existente entre, pelo menos, dois nós sensores de cada *cluster*. Todos os nós monitorados devem encaminhar seus dados diretamente ao nó Coordenador da RSSF, enunciado com o número zero (0) na cor índigo e que se encontra dentro do galpão localizado antes do primeiro *cluster* de tanques. Os quatro *clusters* foram distribuídos da seguinte forma: *cluster 1* - tanques de 1 a 8 e 27; *cluster 2* – tanques 9 e 10; *cluster 3* – tanques de 15 a 17 e de 22 a 26; *cluster 4* – tanques de 11 a 14, 18 a 21 e 28.

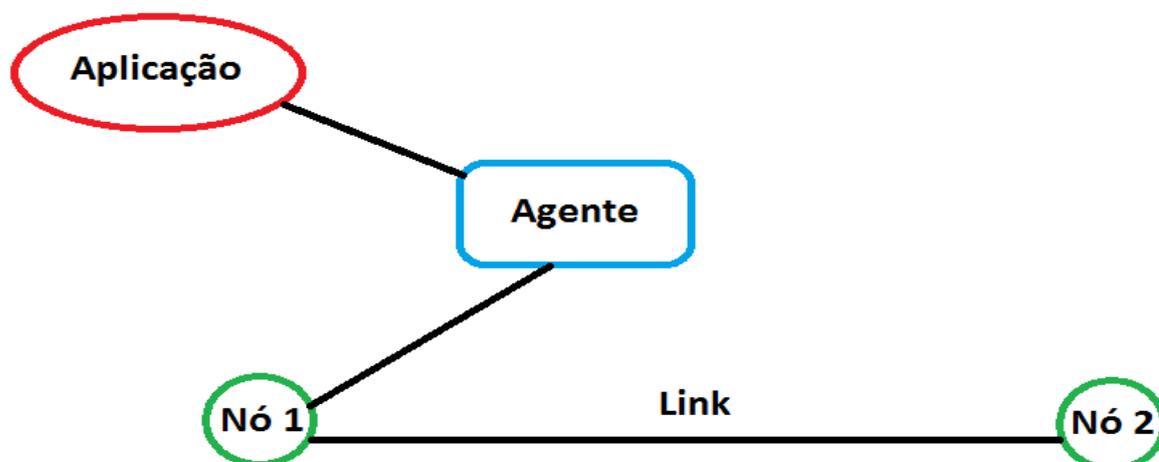
4.4 FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO *NETWORK SIMULATOR 2*

O *Network Simulator 2* (NS-2) é uma ferramenta robusta criada para simulação de redes de computadores, desenvolvida na Universidade de Berkeley através do projeto *VINT* (*Virtual InterNetwork Testbed*). Por ser uma ferramenta gratuita e com código fonte aberto, permite aos usuários alterações e ajustes conforme necessário, de modo a se caracterizar como um software colaborativo, sendo possível simular topologias de rede com e sem fio, podendo fazer uso de cenários construídos com os protocolos UDP e TCP, utilizando diversas políticas e arranjos de rede, entre outras características.

Na ferramenta *Network Simulator 2*, a programação é feita em duas linguagens: OTCL, que é uma linguagem interpretada, onde são escritas as simulações e a linguagem C++, que é utilizada para a estrutura básica, ou seja, agente e protocolos por exemplo. Essas duas linguagens são utilizadas devido à necessidade de se implementar algoritmos que rodem em um grande conjunto de dados (C++) e outra linguagem para evitar o desgaste por parte do usuário em ter que compilar o programa para testá-lo sempre que um parâmetro da simulação precisar ser mudado (OTCL).

Durante as simulações, a ferramenta disponibiliza um módulo de visualização da topologia da rede chamado NAM, com o intuito de facilitar o entendimento da simulação através de desenhos dos dispositivos da rede. Além disso, o NAM tem a capacidade de criar configurações de rede de forma gráfica, de modo a acrescentar dispositivos e ligações entre os mesmos. A figura 7 a seguir ilustra um exemplo da estrutura de uma simulação básica, com os componentes necessários para esta simulação.

Figura 7: Estrutura de uma simulação



- Aplicação: associada diretamente a um agente particular, sendo a fonte de tráfego da rede;
- Agente: são associados aos nós e responsáveis pela geração de diferentes pacotes;
- Nós Sensores: contém os sensores para realizar o sensoriamento e/ou fazer o roteamento das mensagens;
- Link: é o enlace que conecta os nós da rede, onde trafegam os pacotes, podendo ser com ou sem fio.

Além do arquivo.NAM, existe o arquivo do tipo trace (extensão.tr), que registra todos os eventos criados pela simulação, tais como o tempo decorrido, pacotes enviados, recebidos, perdidos e encaminhados (GONÇALVES et al., 2005). Os dados são distribuídos em colunas, sendo necessário um filtro para extrair as informações geradas e analisá-las, através de uma ferramenta que produza gráficos, por exemplo. Nas simulações desenvolvidas neste trabalho, a aquisição dos pacotes recebidos e vazão foram obtidas baseando-se no tutorial de *Chih-Heng Ke* (2013). De posse desses dados, foi utilizado o *Gnuplot* para traçar os gráficos.

4.5 CAMADAS DO NETWORK SIMULATOR 2

O NS-2 trabalha com as camadas de rede, transporte e aplicação. A seguir é feita uma abordagem sobre estas camadas, relacionando seus aspectos ao funcionamento do NS-2.

- **Camada de Rede:** com a necessidade de especificar qual o caminho que os pacotes devem seguir, a camada de rede tem essa responsabilidade. É nela que ocorre a transferência de pacotes entre um nó emissor e um nó receptor. Na realidade, essa tarefa é realizada pelos protocolos de roteamento que trabalham na camada de rede.
- **Camada de Transporte:** no NS-2, os agentes TCP e UDP são utilizados para simular os protocolos. O UDP é um protocolo não orientado a conexão, de modo a não oferecer muitas garantias de que os pacotes serão entregues ao destino. As RSSF do padrão IEEE 802.15.4 utilizam o protocolo UDP. Já o protocolo TCP é orientado a conexão, mantém controle do fluxo de congestionamento, retransmissão, e garante que os dados chegarão corretamente ao receptor.
- **Camada de Aplicação:** nesta camada, o NS-2 possui várias classes que fazem a simulação dos protocolos, que são responsáveis por gerar o tráfego da rede. Baseado nos protocolos de transporte (TCP e UDP) existe dois serviços aplicados para as conexões da rede. O CBR (*Constant Bit Rate*), que é um serviço aplicado para as conexões que precisam de banda fixa, pois os requisitos de tempo entre o emissor e o receptor são limitados. E o serviço FTP (*File Transfer Protocol*), que se diferencia principalmente por passar mais confiabilidade, pois requer garantias na entrega dos pacotes.

4.6 PARÂMETROS DE QOS MEDIDOS

Foram utilizados os seguintes parâmetros para realizar os testes de Qualidade de serviço:

- **Total de Pacotes Enviados e Recebidos:** os pacotes enviados e recebidos são importantes para avaliar o bom desempenho da rede. O protocolo trabalha o tráfego dos dados na rede de forma diferente, logo, a quantidade de pacotes que são enviados e recebidos, é fundamental para analisar o protocolo do ponto de vista da consistência da rede. De posse desses dados foi possível obter o total de pacotes perdidos em cada simulação.

- **Vazão:** outro importante parâmetro de QoS é a vazão, que corresponde à quantidade de pacotes que são enviados ou recebidos simultaneamente em determinados períodos de tempo.
- **Atraso fim-a-fim:** corresponde ao tempo necessário a transmissão de um pacote, do nó origem (neste caso, o nó sensor) ao nó destino (o nó coordenador da RSSF).
- **Jitter:** é um parâmetro utilizado como forma de avaliar o atraso que ocorre na entrega dos dados na rede, de modo que consiste da variação de atraso de duas amostras consecutivas. Quanto menor o *jitter* em uma rede melhor é a comunicação da mesma.

4.7 GNUPLOT

O *Gnuplot* é um utilitário gráfico que começou a ser desenvolvido em 1986, baseado em linhas de comando, que funciona nos principais Sistemas Operacionais disponíveis no mercado. O código-fonte é licenciado, mas distribuído gratuitamente. Foi originalmente criado para permitir que a comunidade científica visualizasse funções matemáticas e dados obtidos a partir de arquivos texto planos. Ele suporta várias modalidades de gráficos 2D e 3D (WILLIAMS et al., 2013).

4.8 NETWORK SIMULATOR 2 VISUAL TRACE ANALYZER

Para conseguir os gráficos do atraso fim-a-fim e do *jitter*, bem como alguns dados estatísticos resultantes das simulações, tais como, total de pacotes perdidos, foi utilizada a ferramenta NS2 *Visual Trace Analyzer*. A ferramenta utiliza os arquivos .tr e .nam para obter tais dados. Ela permite gerar arquivos texto com os dados resultantes da análise do arquivo *trace* (ROCHA, 2012). De posse desses arquivos foi possível construir os gráficos do atraso fim-a-fim e *jitter* através do *Gnuplot*.

4.9 PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

Neste tópico são apresentados alguns parâmetros utilizados para as simulações que são realizadas nos cenários implementados e simulados na ferramenta NS-2. A seguir são descritos as análises de cada parâmetro necessário às simulações.

4.9.1 Quantidade de nós sensores a serem monitorados

A cobertura da coleta de dados no local a ser monitorado, é proporcional à quantidade de nós presentes nesta área, de modo que, quanto mais nós possuir o local, melhor será a transmissão de dados. Contudo, se houver um número elevado de nós no local e este local for muito pequeno, existe a possibilidade de engarrafamento na rede, que provavelmente resultaria em perda de dados. Por isso, é fundamental uma densidade correta dos nós no local a ser monitorado para que se evite o máximo possível de perda de dados (AKHONDI et al., 2010).

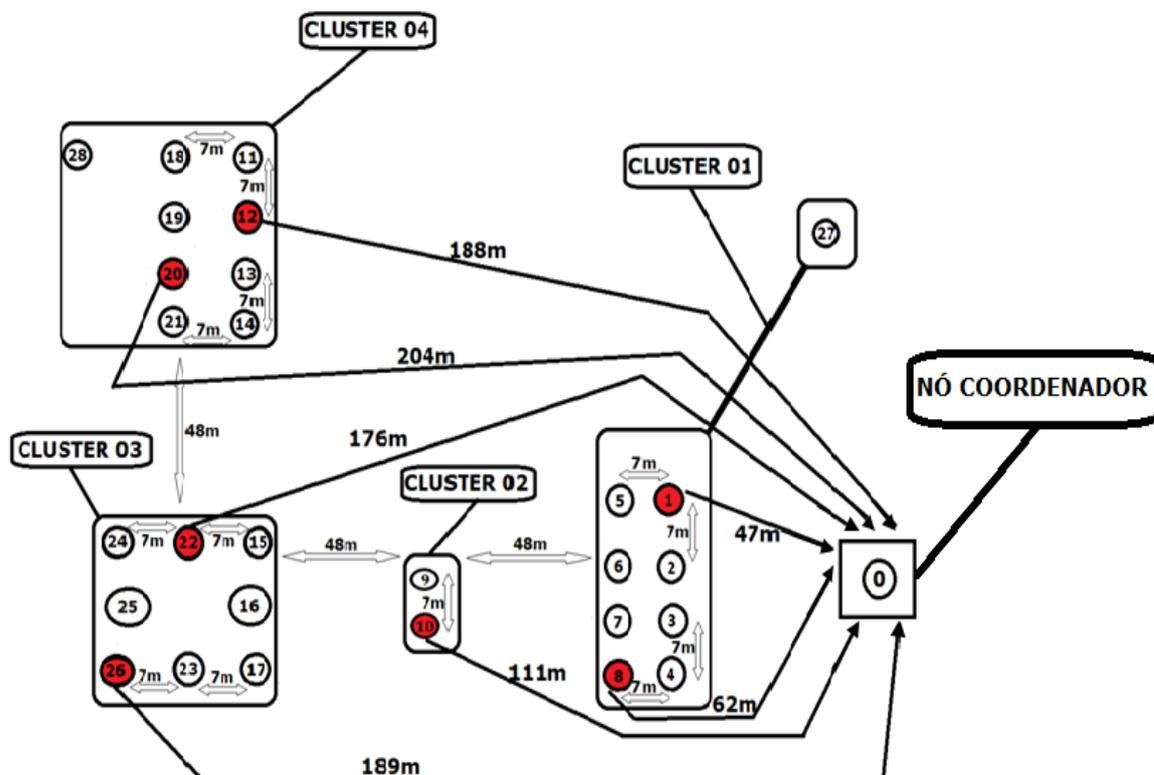
4.9.2 Tamanho da área de simulação

Conforme for a topologia a ser implementada na RSSF, seja ela Estrela, Malha ou *Cluster-tree*, o tamanho da área de monitoramento deve ser viável a comunicação, visto que, as RSSF oferecem certa limitação para conectividade entre os nós sensores. No cenário escolhido (Refinaria Potiguar Clara Camarão) a distância entre os tanques necessita de uma rede configurada como Malha ou *Cluster-tree*, sendo, neste caso, empregado o protocolo de roteamento *ZigBee* alvo deste trabalho. A área total da refinaria que foi configurada no NS-2 corresponde a um total de 40 km² (200m x 200m).

4.9.3 Distribuição dos nós sensores

O cenário foi construído para simular uma área de monitoramento, onde os nós são fixados na parte superior de cada tanque, tendo suas antenas apontadas em visada direta, para o galpão onde se encontra o nó Coordenador. Este, por sua vez, possui uma antena de longo alcance do tipo omnidirecional permitindo, assim, a total cobertura da área sensoriada. A distância média entre os tanques de cada *cluster* é de 7 metros e cada um dos 4 *clusters* fica a uma distância de 48 metros um do outro, em média. O tanque mais distante tem 275 metros em relação ao galpão, onde se encontra o nó Coordenador da rede. As medidas de cada tanque monitorado até o nó Coordenador da RSSF são descritas a seguir. Nó 1: 47m; nó 8: 62m; nó 10: 111m; nó 12: 188m; nó 20: 204m; nó 22: 176m; nó 26: 189m. Todas as medidas foram adquiridas através da ferramenta de medição existente no Google Earth (2014), Figura 8.

Figura 8: Distância média entre os clusters de tanques e os nós monitorados até o nó coordenador da rede



4.9.4 Distribuição dos sensores em cada tanque

Cada tanque possui um conjunto composto por um nó e três sensores (temperatura, pressão e vazão) conectados nele. Cada nó comunica-se com o Coordenador da RSSF, enviando os dados coletados.

4.9.5 Parâmetros para simulações

Todas as configurações de hardware dos nós sensores foram baseadas nos dados obtidos pelo *datasheet* da XBee & XBee-PRO/ZB (2011), empresa fabricante de transceptores do padrão IEEE 802.15.4:

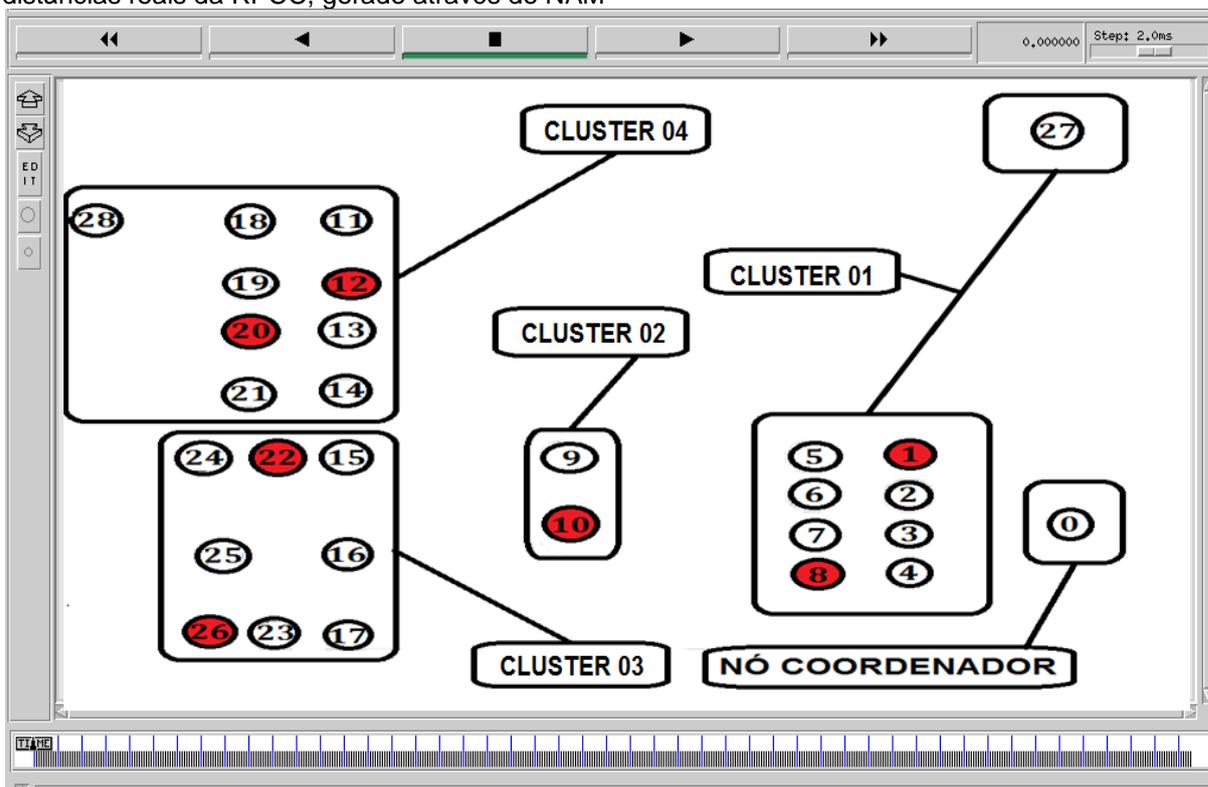
- Tensão de trabalho: 3Volts (média);
- Utilização de 3 sensores por nó sensor (temperatura, pressão e vazão);
- Tamanho do pacote transmitido: 70Kb, que equivale aos de leitura dos sensores;

- Frequência de operação: 4MHz;
- Consumo de energia: Como esta planta possui alimentação por rede elétrica o presente trabalho não se preocupou com o estudo mais minucioso do consumo de energia de cada nó sensor;
- Protocolo de roteamento: *ZigBee*;
- Camada de acesso ao meio: padrão IEEE 802.15.4;
- Unidade de radiotransmissão: corrente de consumo de 45mA para transmissão e 50mA para recepção, correspondendo as potências consumidas de 135mW (27ma x 3V) e 150mW (50mA x 3V) respectivamente.
- Potência de transmissão: 1mW para os nós sensores (XBee) e de 63mW para o nó Coordenador (XBee Pro). O nó coordenador necessita ter um alcance maior que os nós sensores, tornando, assim, possível cobrir toda a área sensoriada.
- Alcance das antenas: até 90m para os nós sensores (XBee) e até 1.600m para o nó Coordenador (XBee Pro), em ambiente aberto e em visada direta. Ajustou-se o alcance do Coordenador nas simulações do NS-2 para o alcance de 100m.
- Comunicação realizada entre nós sensores e coordenador da RSSF: foi feita de dois tipos: intercalada, com intervalos entre coletas e simultânea, cujos nós sensores comunicam-se continuamente com o Coordenador.
- A simulação inicia no instante $t = 1$ segundo, terminando nos instantes $t = 34s$, e $t = 60s$, dependendo da comunicação simulada.
- Cada dispositivo é inicializado 0,5 segundo após o outro, seguindo a sequência numérica de cada nó, perfazendo um total de 14 segundos para que todos os nós estejam operacionais. No sentido de evitar falhas de inicialização e reconhecimento, estendeu-se o tempo para o início da coleta de dados nesta RSSF para $t = 20s$.

5 ANÁLISES DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta alguns gráficos que foram gerados pela ferramenta *GnuPlot*. Esses gráficos servem de critério para analisar o desempenho do protocolo de roteamento *ZigBee* implementado para realização dos testes nas simulações. Tais gráficos possibilitam, através da análise dos mesmos, observar em qual cenário o *ZigBee* obteve melhor desempenho. Os testes foram realizados em um cenário com a comunicação simultânea e outro com a comunicação intercalada. A figura 9 ilustra a composição física dos nós na rede, onde os nós monitorados (1, 8, 10, 12, 20, 22 e 26), repassam seus dados em forma de pacotes ao nó Coordenador da rede (nó 0), cujas rotas são determinadas pelo protocolo utilizado na simulação feita.

Figura 9: Imagem dos nós distribuídos fisicamente nos cenários implementados baseados nas distâncias reais da RPCC, gerado através do NAM



5.1 ANÁLISES DA REDE HÍBRIDA NA COMUNICAÇÃO SIMULTÂNEA

Neste tópico são apresentados os resultados gráficos das simulações que foram feitas perante os testes realizados utilizando o Protocolo Híbrido *ZigBee*. Os parâmetros utilizados na simulação deste protocolo em comunicação híbrida foram os seguintes: tempo total de simulação 60s (o nó 1 inicia sua comunicação em $t = 20s$; o nó 8 inicia 2s após o nó 1, ou seja, em $t = 22s$ e, assim, sucessivamente até o

nó 26); raio de alcance do nó Coordenador: 100m; raio de alcance dos nós sensores: 60m. Esses valores são os mínimos necessários para permitir uma comunicação dos nós sensores com o Coordenador.

5.1.1 Total de pacotes recebidos

A figura 10 representa o gráfico do total de pacotes recebidos no cenário da comunicação simultânea utilizando o protocolo *ZigBee*, onde é possível analisar que existe um crescimento maior dos nós 1 e 8, primeiros a iniciarem a comunicação. Os demais nós, mantêm crescimento próximos um do outro, já que os mesmos começaram a se comunicar primeiro, ganhando a permissão do meio físico de comunicação. Os demais nós disputarão o meio físico com os nós que já estão comunicando. O *ZigBee* tem a característica de permitir a configuração de sua forma de roteamento de acordo com a topologia da rede.

Se a rede for pequena, a comunicação se faz de forma direta com o Coordenador, na topologia estrela; se a rede for maior e suas distâncias permitirem um arranjo da comunicação plana, ele roteia pelo formato AODVjr, que possui tabelas de roteamento otimizadas para garantir menor consumo de energia dos nós sensores; se a topologia, entretanto, demandar que os nós se organizem em *clusters*, ele trabalha com o protocolo hierárquico HTR, também otimizado.

Ao analisar os dados resultantes desta simulação pelo *NS-2 Visual Trace Analyzer* foi possível constatar que o *ZigBee* ativou o HTR, mantendo o roteamento no formato Hierárquico, através dos seguintes *clusters*: *cluster* 1 (nó 5) roteia pelo nó 12; *cluster* 2 (nó 1) roteia pelo nó 20; *cluster* 3 (nó 2) roteia pelos nós 22 e 26. Os nós 1, 8 e 10 comunicam-se diretamente com o coordenador (figura 11).

Figura 10: Total dos pacotes recebidos no cenário da comunicação simultânea utilizando o protocolo ZigBee (roteando como HTR)

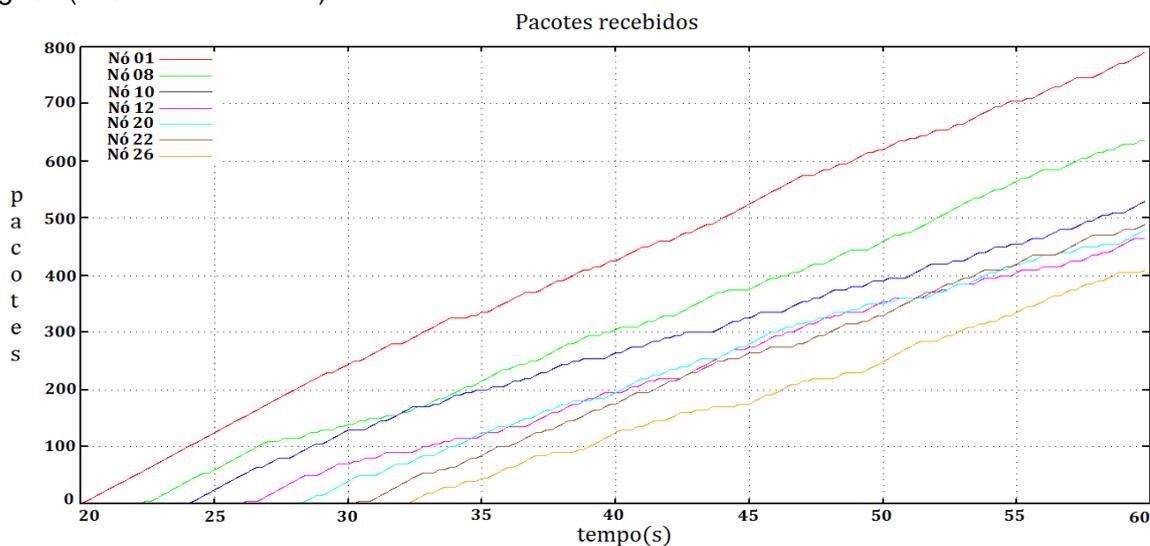
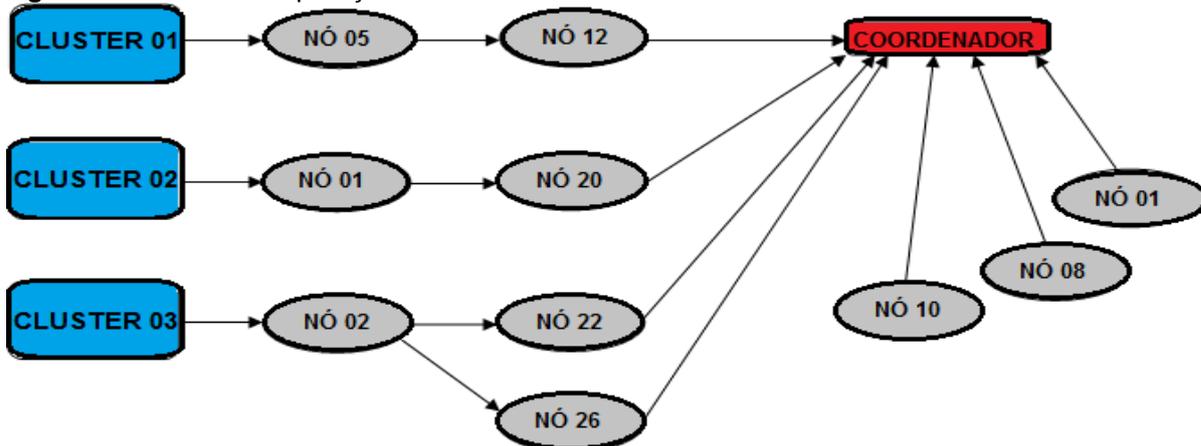


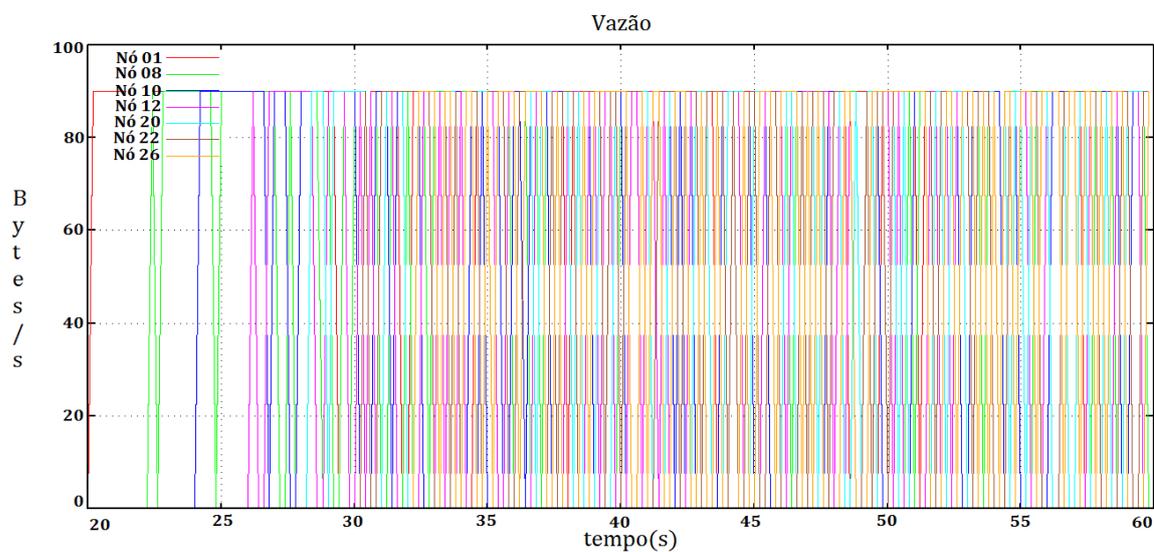
Figura 11: Clusters da aplicação



5.1.2 Vazão dos pacotes enviados

Na figura 12, apresenta-se o gráfico da Vazão total dos pacotes enviados no cenário da comunicação simultânea utilizando o protocolo *ZigBee*, mantendo-se com vazão constante em todos os nós e, no máximo 90 bytes/s.

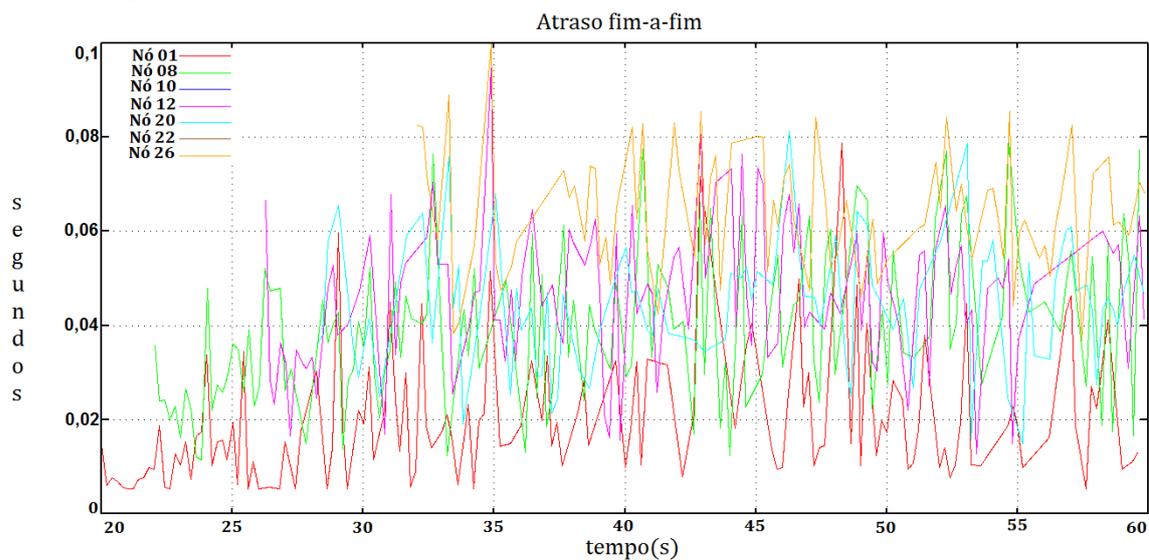
Figura 12: Vazão dos nós na rede no cenário da comunicação simultânea utilizando o protocolo de roteamento *ZigBee*



5.1.3 Atraso fim-a-fim dos pacotes enviados

A figura 13 apresenta o gráfico do atraso fim-a-fim dos pacotes enviados no cenário da comunicação simultânea utilizando o protocolo *ZigBee*, onde o atraso manteve uma taxa média, em torno de 0,03s, em comunicação simultânea. O atraso máximo registrado pelo *ZigBee* foi de 0,08s.

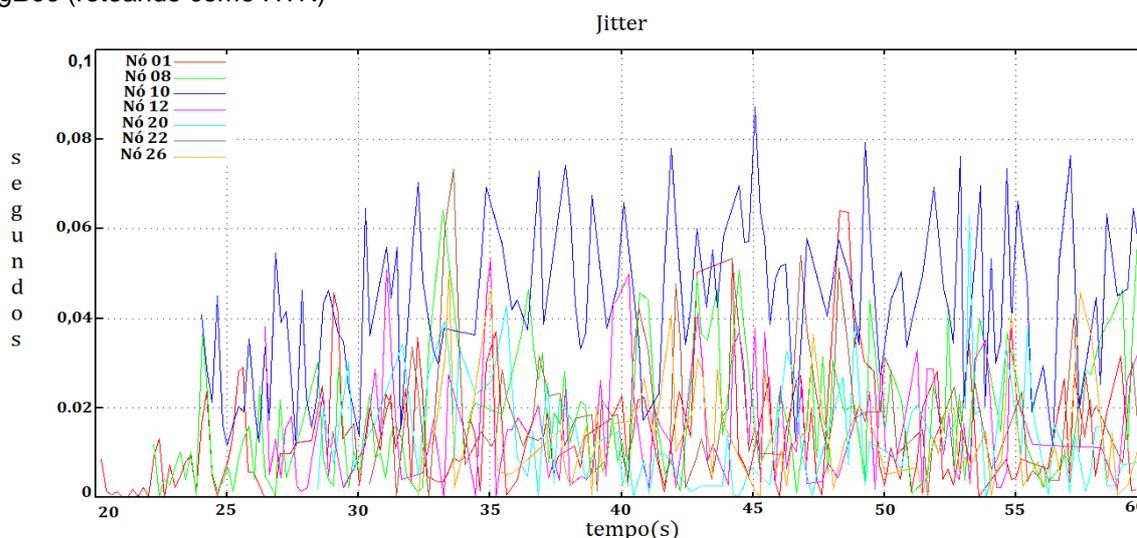
Figura 13: Atraso fim-a-fim dos pacotes enviados no cenário da comunicação simultânea utilizando o protocolo *ZigBee* (roteando como HTR)



5.1.4 Jitter dos pacotes enviados

A figura 14 apresenta o gráfico do *jitter* dos pacotes enviados no cenário da comunicação simultânea utilizando o protocolo *ZigBee*, onde observa-se uma média de 0,02s. O protocolo *ZigBee*, em comunicação simultânea, apresentou um baixo *jitter*.

Figura 14: *Jitter* dos pacotes enviados no cenário da comunicação simultânea utilizando o protocolo *ZigBee* (roteando como HTR)



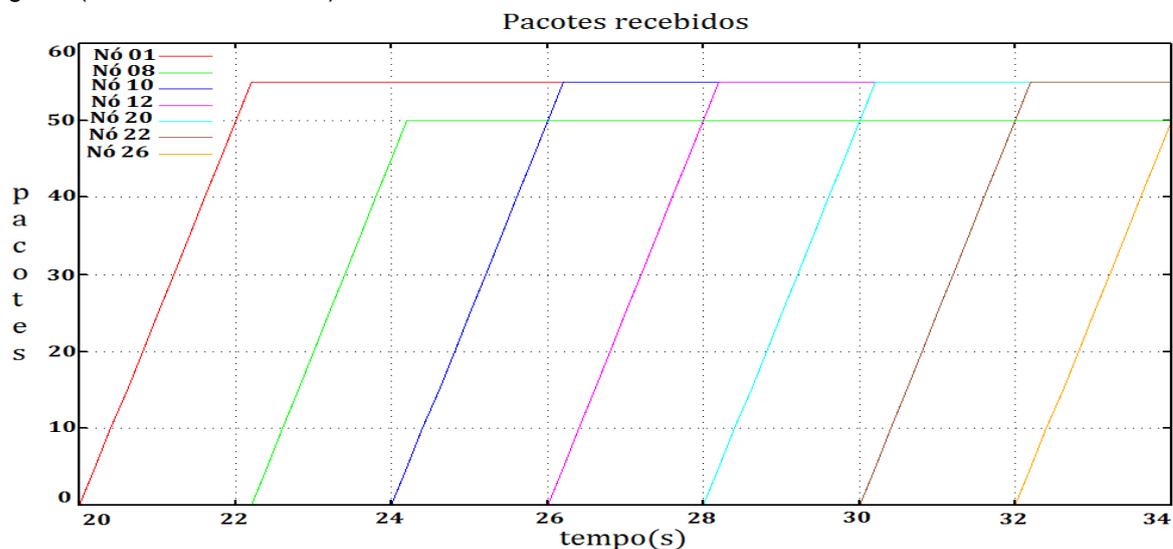
5.2 ANÁLISES DA REDE HÍBRIDA NA COMUNICAÇÃO INTERCALADA

Neste tópico, são apresentados os gráficos resultantes dos testes realizados com o Protocolo Híbrido *ZigBee*, implementado no cenário da comunicação intercalada. O nó 1 inicia sua comunicação em $t = 20s$, passando 2s comunicando; logo após, o nó 1 entra em hibernação e o nó 8 inicia sua comunicação, seguindo o mesmo ciclo utilizado pelo nó 1 e, assim, sucessivamente até o nó 26.

5.2.1 Total de pacotes recebidos

Semelhante ao ocorrido na comunicação simultânea, o *ZigBee* roteou através do HTR, formando os mesmos *clusters* formados na comunicação simultânea, descritos no item 5.1.1. Na figura 15 é possível observar o mesmo comportamento, em comunicação intercalada, excetuando-se, neste caso, o nó 8, que manteve o total de pacotes recebidos 16% menor que os demais nós comunicantes.

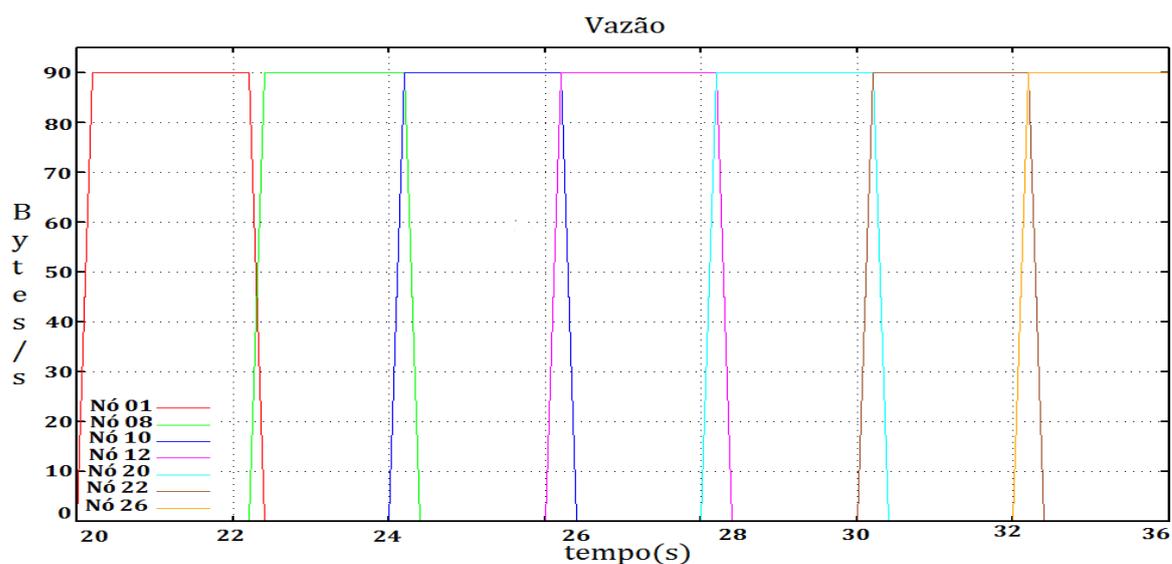
Figura 15: Total dos pacotes enviados no cenário da comunicação intercalada utilizando o protocolo *ZigBee* (roteando como HTR)



5.2.2 Vazão dos pacotes enviados

A figura 16 mostra o gráfico da vazão total dos pacotes enviados no cenário da comunicação intercalada utilizando o protocolo *ZigBee*, roteando como HTR, mostra que a taxa de vazão dos pacotes enviados na rede pelos nós mantém um valor igualitário de até 90 bytes/s, em todos os nós, comprovando, assim, que o *ZigBee* está roteando hierarquicamente, através do HTR.

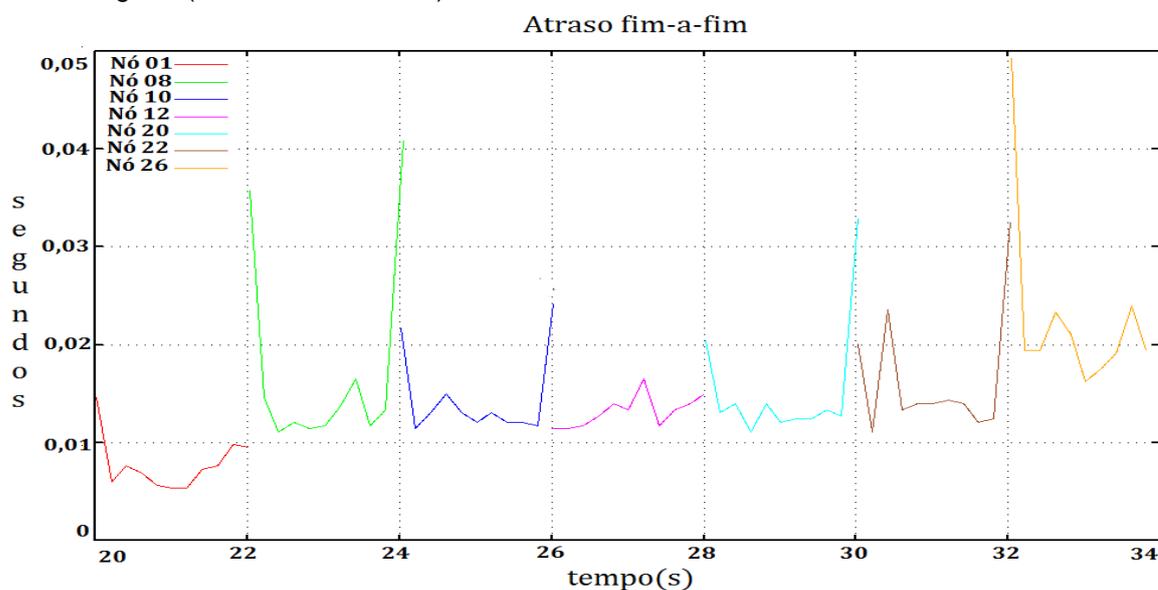
Figura 16: Vazão dos nós na rede no cenário da comunicação intercalada utilizando o protocolo *ZigBee* (roteando como HTR)



5.2.3 Atraso fim-a-fim dos pacotes enviados

A figura 17 apresenta o gráfico do atraso fim-a-fim dos pacotes enviados no cenário da comunicação intercalada utilizando o protocolo *ZigBee*, cuja média de atraso foi de 0,01s, atestando a eficiência do HTR como protocolo de roteamento hierárquico utilizado no *ZigBee*.

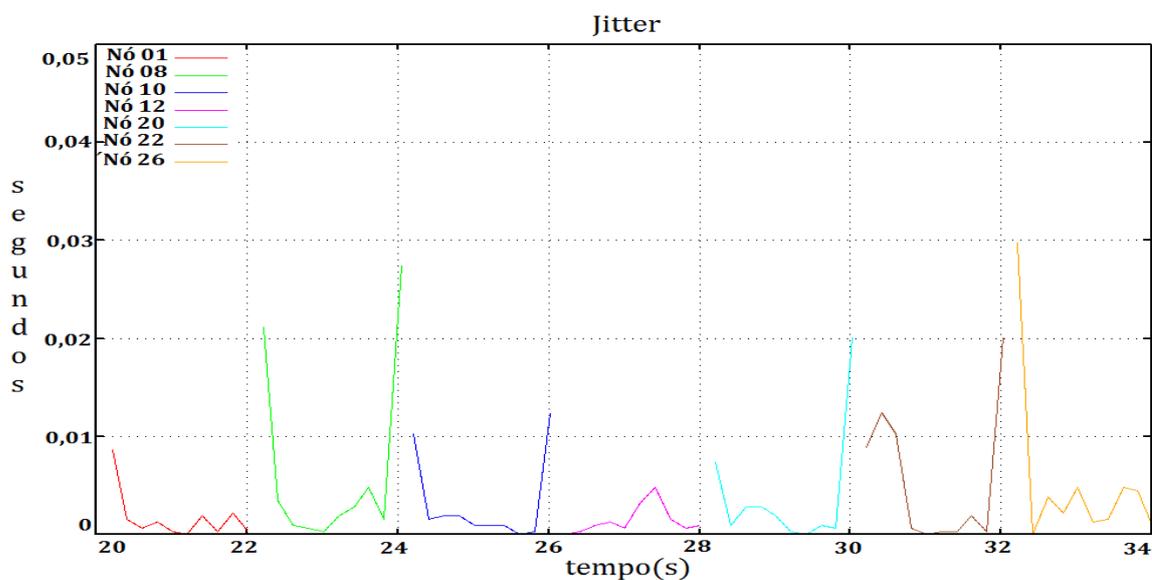
Figura 17: Atraso fim-a-fim dos pacotes enviados no cenário da comunicação intercalada utilizando o protocolo *ZigBee* (roteando como HTR)



5.2.4 Jitter dos pacotes enviados

A média do *jitter* observada na comunicação feita através do *ZigBee*, foi de 0,025s. Os valores observados são considerados adequados para a aplicação ao qual o cenário desta RSSF propõe monitorar. A figura 18 exibe o gráfico de onde resultou esta análise.

Figura 18: Jitter total dos pacotes enviados no cenário da comunicação intercalada utilizando o protocolo *ZigBee* (roteando como HTR)



5.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA REDE HÍBRIDA EM COMUNICAÇÃO SIMULTÂNEA E COMUNICAÇÃO INTERCALADA

Conforme discutido anteriormente, o protocolo de comunicação *ZigBee* utilizou o protocolo de roteamento hierárquico HTR na comunicação simultânea do cenário simulado. Em todas as análises realizadas, o HTR foi o mais eficiente, em comparação com AODVjr. Mesmo com todos os resultados apontando para a utilização do HTR nesta aplicação, a quantidade de pacotes perdidos ainda é alta para redes que trabalham em tempo real, o que não é aconselhável a sua utilização no cenário estudado. Já no cenário da comunicação intercalada o *ZigBee*, roteando pelo HTR, não houve perda de pacotes nesta comunicação. Isso indica que a comunicação intercalada é a melhor abordagem a ser utilizada neste cenário. A tabela 3 apresenta o total de pacotes enviados e perdidos no protocolo HTR utilizado, neste caso, pelo *ZigBee*.

Tabela 3: Total de pacotes enviados, perdidos e percentual de pacotes perdidos do protocolo de comunicação *ZigBee* no cenário da comunicação simultânea e comunicação intercalada

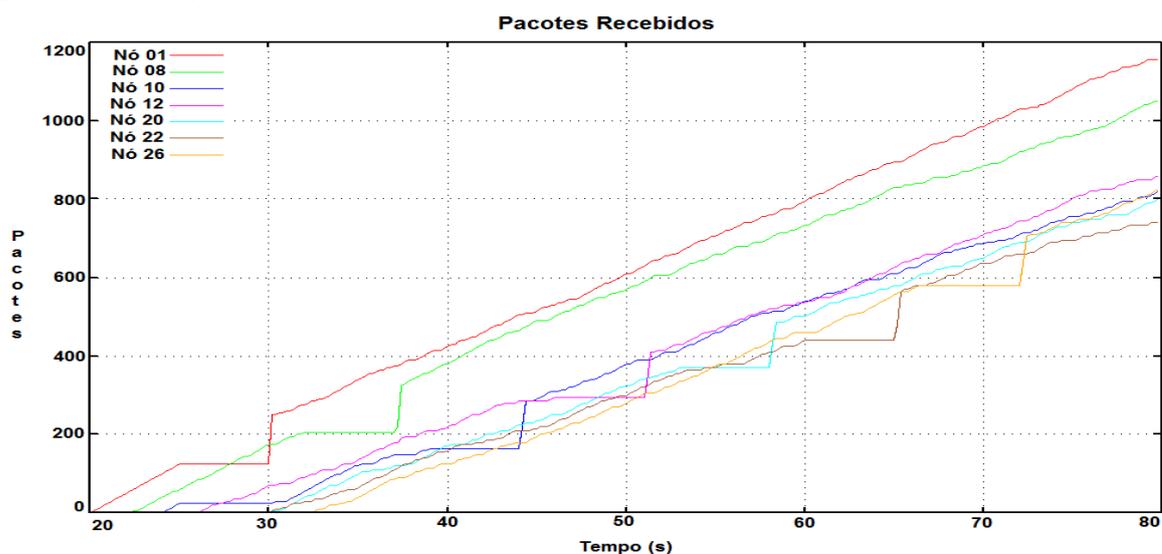
Protocolo de Roteamento / Parâmetros de Simulação	Nº Pacotes Enviados	Nº Pacotes Perdidos	% Pacotes Perdidos
Comunicação Simultânea <i>ZigBee</i> (roteando pelo HTR)	1190	416	35%
Comunicação Intercalada <i>ZigBee</i> (roteando pelo HTR)	76	0	0%

5.4 ANÁLISES DA REDE HÍBRIDA NA COMUNICAÇÃO SIMULTÂNEA COM PRESENÇA DE FALHAS

Os nós foram desabilitados por 5 segundos iniciando pelo nó 1, no tempo $t = 25s$, com intervalo de 2 segundos de falha para o próximo nó e, assim, sucessivamente, até o no 26.

O gráfico da figura 19 mostra que todos os nós após voltarem à atividade, conseguiram retomar normalmente a sua comunicação. O nó 10, entretanto, parou de se comunicar no instante de tempo em que o nó 1 foi desabilitado, indicando que o nó 10 realiza o roteamento através do nó 1 para poder se comunicar com o coordenador da rede.

Figura 19: Total dos pacotes enviados no cenário da comunicação simultânea utilizando o protocolo ZigBee na presença de falhas



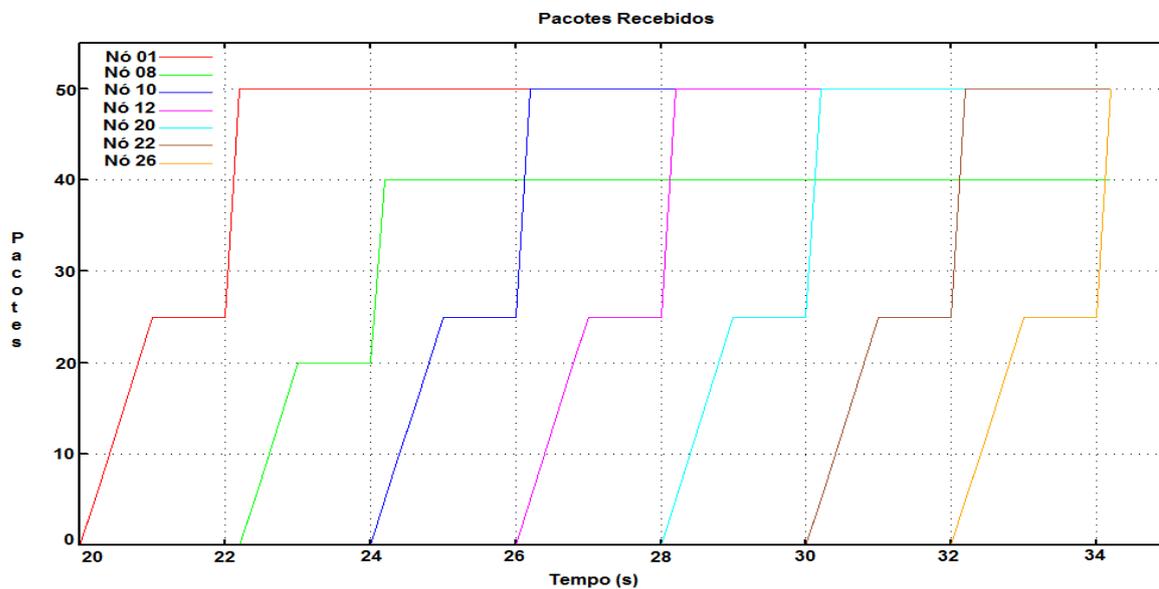
5.5 ANÁLISE DA REDE HÍBRIDA NA COMUNICAÇÃO INTERCALADA COM PRESENÇA DE FALHAS

Os nós foram desabilitados por 1 segundo iniciando pelo nó 1, no tempo $t = 22s$, assim, sucessivamente, até o no 26 (Figura 20).

Pôde-se observar que as falhas afetaram mais a RSSF na comunicação intercalada do que na comunicação simultânea. O nó 8, apesar de ter conseguido no primeiro momento se recuperar da falha, conseguiu enviar 40 pacotes, de um total de 50 pacotes. Isso deve-se ao fato da maior latência na comunicação intercalada,

dificultar a rápida recuperação individual dos nós frente às falhas, prejudicando o estabelecimento de novas rotas de comunicação.

Figura 20: Total dos pacotes enviados no cenário da comunicação intercalada utilizando o protocolo ZigBee na presença de falhas



6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho, consistiu em implementar cenários e o protocolo de comunicação híbrido *ZigBee* utilizado em RSSF, através de ambiente simulado, com o intuito de realizar testes e analisar o comportamento do mesmo em cenários distintos, que se assemelham ao aplicado na Refinaria Potiguar Clara Camarão. Estes testes foram feitos através da análise de gráficos e dados estatísticos, obtidos por ferramentas que simulam a RSSF. O *ZigBee* foi analisado, no cenário da comunicação simultânea e da comunicação intercalada, levando-se em consideração estes dois cenários de comunicação, para fazer a análise e definições de qual cenário obteve o melhor desempenho. Foram levados como critérios de avaliação alguns parâmetros de QoS para a elaboração dos gráficos: o total de pacotes enviados, vazão, atraso fim-a-fim e *jitter*.

Ao realizar as análises de todos os gráficos das simulações, foi possível perceber que, dentre os cenários implementados, o protocolo híbrido *ZigBee* teve resultados satisfatórios no cenário da comunicação intercalada, enquanto que na comunicação simultânea, ele obteve um desempenho abaixo do esperado. Na análise comparativa dos cenários em relação aos dados estatísticos, também foi perceptível que os resultados do percentual dos pacotes perdidos, foram compatíveis com os resultados dos gráficos das simulações.

Levando em consideração os dados da tabela 3 e os gráficos gerados perante as falhas, chegou-se a conclusão que o protocolo híbrido *ZigBee* gerou bons resultados em ambos os cenários de comunicação, obtendo as menores taxas de pacotes perdidos, sendo que, na comunicação intercalada, seu desempenho foi excelente, pois não houve perdas de pacotes. Percebe-se, portanto que, em cenários cujo ambiente se assemelhe ao estudado neste trabalho, a indicação do protocolo *ZigBee*, roteado como o protocolo HTR, é a melhor opção. Tal fator indica que a adaptabilidade deste protocolo às diversas configurações de redes industriais de topologia e características similares à estudada, visto que, se trata de um protocolo híbrido, explica o motivo do seu ótimo desempenho em todos os testes de QoS anteriormente expostos. Entretanto, ao analisar os gráficos gerados perante as falhas, foi possível observar que as falhas afetaram mais a RSSF na comunicação intercalada do que na comunicação simultânea. Mesmo diante deste fato, ambas as comunicações mostraram-se viáveis de serem utilizadas na presença de falhas.

REFERENCIAS

- ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário Estatístico da Indústria Automobilística Brasileira**. Disponível em: <www.anfavea.com.br/anuario.html>. Acesso em: 30 mai. 2014.
- ANP – Agência Nacional Petróleo. Disponível < www.anp.gov.br>. Acesso em: 30 mai. 2014.
- AKHONDI, M. R. et al. Applications of Wireless Sensor Networks in the Oil, Gas and Resources Industries. *Advanced Information Networking and Applications*, p. 8, 2010.
- AUTOENTUSIASTAS: **Indústria Automobilística: Definido o Regime**. Disponível em: <<http://autoentusiastas.blogspot.com.br/2012/10/industria-automobilistica-definido-o.html>>. Acesso em: 10 jun. 2014.
- BRONZATTI, L. F. C. **Análise sobre a tecnologia de rede sem fio ZigBee/IEEE 802.15.4**. 2013. 109 f. Monografia (Departamento de Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Paulo/SP.
- BIODIESELBR.COM, **O Que é Biodiesel**. 2014. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/definicao/o-que-e-biodiesel.htm>>. Acesso em: 29 abr. 2014.
- CAVALCANTE, D. S. et al. **Estudo de Válvulas de Segurança e/ou Alívio Utilizadas na Produção e Armazenamento de Petróleo e Gás Natural**. Semana Nacional de Ciência e Tecnologia do Instituto Federal de Sergipe, p. 1, 2012.
- CHEN, F. et al. **Real-time Enabled IEEE 802.15.4 Sensor Networks in Industrial Automation**. Dept. of Computer Science, University of Erlangen, p. 4, 2009.
- CHIH-HENG, K. **NS2 learning guid**. Disponível em: <<http://wsnlab.org/ns2-useful-link-information/>>. Acesso em: 22 abr. 2014.
- COAN, W. S. **Roteamento em Redes de Sensores Sem Baseado no Caminho Mais Forte em Energia**. 2012. 89 f. Dissertação (Ciências da Computação) - Universidade Católica do Paraná, Curitiba.
- CUOMO, F. et al. **Topology Formation in IEEE 802.15.4: Cluster-Tree Characterization**IEEE, mar. 2008. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4517407>>. Acesso em: 24 mar. 2014.
- FAÇANHA, T. DOS S. **Rede de Sensores Sem Fio: Uma Abordagem para Detecção de Falhas em Sistemas Elétricos**. 2007. 98 f. Monografia (Ciências da Computação) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, Fortaleza.

FERNANDES, J. D. **Desenvolvimento de Sistemas Embarcados para Redes de Sensores e Atuadores Sem Fio aplicadas em Unidades de Elevação de Petróleo do Tipo Plunger Lift**. 2010. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia do Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

FIGUEIREDO, C. M. S. et al. **Um Esquema de Gerenciamento para Redes de Sensores sem Fio Auto-Organizáveis: Atuando sobre regras locais**. 25º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, p. 14, 2007.

FREITAS, N. B. B. **Situações e Fatores de Risco no Ramo Químico**, 2000. Acesso em: 20 jun. 2014. GONÇALVES, L. C.; CORRÊA, M. E. DE O. Tutorial de NS-2, 2005. . Acesso em: 15 jun. 2014.

GONÇALVES, L. C.; CORRÊA, M. E. DE O. **Tutorial de NS-2, 2005**. . Acesso em: 20 abr. 2014

GOMES, M. M. R. **Produção de biodiesel a partir da esterificação dos ácidos graxos obtidos por hidrólise de óleo de peixe**. 2009. 93f. Tese (Pós-Graduação em tecnologia de Processos Químicos) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

EARTH, G. **Polo Petroquímico de Guamaré/RN**. Acesso em: 22 abr. 2013.

HOSSEN, M. et al. **Interconnection between 802.15. 4 devices and IPv6: implications and existing approaches**. arXiv preprint arXiv:1002.1146, 2010.

HUHTONEN, A. **Comparing AODV and OLSR Routing Protocols**. Seminar on Internetworking, p. 9, 2004.

IEEE Standard for Information Technology - **Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Local and Metropolitan Area Networks Specific Requirements Part 15.4 Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for**. [S.l.]: [s.n.], 2003.

KANDRIS, D.; TISIOUMAS, P.; TZES, A.; PANTAZIS, N.; VERGADOS, D. **Hierarchical energy efficient routing in wireless sensor networks**. In: **Control and Automation**. 2008 16th Mediterranean Conference, páginas 1856 a 1861.

JURCÍK, P. et al. Real-Time Communications over *Cluster-Tree* Sensor Networks with Mobile Sink Behaviour. **Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications, 2008. RTCSA '08. 14th IEEE International Conference on**, p. 12, 2008.

LAKHE, P. R. **WIRELESS SENSOR NETWORK USING ZIGBEE**. National Conference on Emerging Trends in Engineering & Technology, p. 10, 2012.

LOUREIRO, A. et al. Redes de Sensores Sem fio. p. 48, [s.d.]. LAKHE, P. R. **WIRELESS SENSOR NETWORK USING ZIGBEE**. National Conference on Emerging Trends in Engineering & Technology, p. 10, 2012.

LIMA, H. F. D. S. **Abordagem Comparativa do Desempenho dos Protocolos de Roteamento Utilizados no Padrão IEEE 802.15.4 para a Indústria de Petróleo e Gás Natural**. 2013. 95 f. Monografia (Ciências da Computação) – Universidade do Estadual do Rio Grande do Norte, Natal.

LOUREIRO, A. et al. **Redes de Sensores Sem fio**. p. 48, [s.d.].

NAMBA, M. DE O. Modelagem e Especificação de um Middleware para Redes de Sensores Sem Fio Aplicado à Saúde. Dissertação—Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2011.

MEDEIROS, M. R. **Biodiesel Em Guimarães/RN: Estágio Inicial de Implantação**. 2013. 53 f. Monografia (Ciência e Tecnologia.) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, RN.

MOREIRA, I. **Protocolo ZigBee em Redes de Comunicação Intraveicular**. 2012. 76 f. Monografia (Ciências da Computação) - Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Natal.

NOVA, F. S. V. **Redes de Sensores em Malha Sem Fio um Estudo de Caso de Automação Residencial Usando a Tecnologia ZigBee/IEEE 802.15.4**. 2009. 96 f. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Federal do Pará, Belém.

OBODOEZE, F. C.; INYIAMA, H. C.; IDIGO, V. E. **Wireless Sensor Network In Niger Delta Oil And Gas Field Monitoring: The Security Challenges And Countermeasures**. International Journal of Distributed and Parallel Systems, p. 13, 2012.

OLIVEIRA, F. D. M. **Desenvolvimento de um Software de Comunicação sem Fio Aplicado à Instrumentação de Unidade de Elevação de Petróleo Tipo Plunger Lift**. 2009. 143 f. Monografia (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

OLIVEIRA, F. D. M. **Um Novo Protocolo Tolerante a Falhas Aplicado às Redes de Sensores sem Fio**. 2012. 131 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

PAKZAD, S. N. et al. **Design and Implementation of Scalable Wireless Sensor Network for Structural Monitoring**. Journal Of Infrastructure Systems, v. 14, p. 13, 2008.

PARENTE, E. S. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Tecbio. 2003. 66 f. Fortaleza, CE.

PETROBRÁS. **Petrobrás Implementa Refinaria no Rio Grande do Norte** **Fatos e Dados**, 19 nov. 2009. Disponível em: <<http://fatosedados.blogspot.com.br/2009/11/19/petrobras-implanta-refinaria-no-rio-grande-do-norte/>>. Acesso em: 10 fev. 2009

PETROBRÁS. **Refinaria Potiguar Clara Camarão**. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/refinarias/refinaria-potiguar-clara-camarao.htm>>. Acesso em: 1 jun. 2014.

RIBEIRO, T. J. R. **Estudo Comparativo de Protocolos de Roteamento para Redes Sem Fio Ad Hoc Móveis e Suas Aplicações em Atividades Emergenciais**. Monografia - Fortaleza: FACULDADE FARIAS BRITO, 2010.

ROCHA, F. **NS2 Visual Trace Analyzer**. Coimbra, Portugal: 2012.

SANTOS, C. F. **Biodiesel: Uma Análise de Custos de Produção**. 2008. 89 f. Monografia (Curso de Graduação Em Ciências Econômicas). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

SAVAZZI, S.; GUARDIANO, S.; SPAGNOLINI, U. **Wireless Sensor Network Modeling and Deployment Challenges in Oil and Gas Refinery Plants**. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, p. 17, 2013.

SILVA, M. S.; FRUETT, F. **Rede de Sensores Sem Fio de Baixo Custo para Monitoramento Ambiental**. XVIII Congresso Brasileiro de Automática, p. 6, 2010.

SILVA, I. M. D. **Redes de Sensores sem Fio aplicadas em Ambientes Industriais de Petróleo e Gás**. 2006. 92 f. Monografia (Engenharia de Computação) – Universidade do Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SOBRAL, T. **Wireless Sensor Network for Oil & Gas Industry**. Recife, PE: SiliconReef Consultoria, Pesquisa e Projetos em Tecnologia da Informação S/A, 2012. Disponível em: <<http://www.siliconreef.com.br/site/assets/public/files/whitepapers/c064d2584c5c6d8dde65be9fcebe10aa.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2014.

SOHRABI, K. et al. Self Organizing Wireless Sensor Network. **Personal Communications**, p. 27, out. 2000.

SOARES, S. A. F. **Rede de Sensores Sem Fio Para Localização e Monitoramento de Pequenos Ruminantes**. 2012. 80 f. Monografia (Graduação em Engenheiro de Computação) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro.

TEIXEIRA, M. C.; TAOUIL, D. S. G. Biodiesel: uma energia alternativa e verde. **Vértices**, v. 12, n. 3, p. 17–40, 2010.

VAN NIEUWENHUYSE, A.; ALVES, M.; KOUBÂA, A. **On the use of the ZigBee protocol for Wireless Sensor Networks**. [s.l.] HURRAY-TR-060603 (June 26, 2006), 2006. Disponível em: <<https://193.136.60.49/docs/on+the+use+of+the+ZigBee+protocol+for+wireless+sen+networks/281/attach.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2014.

XBEE & XBee-PRO/ZB. Embedded RF modules provide low-cost, low-power wireless connectivity using the ZigBee PRO Feature Set .2011. Disponível em: <http://www.digi.com/pdf/ds_xbeezbmodules.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2014.

WILLIAMS, T.; KELLEY, C. Gnuplot Homepage. Estados Unidos: GNU, 2013.