

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**METODOLOGIA PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE  
ARCABOUÇOS INTELIGENTES PARA O AUXÍLIO AO  
PROJETO DE REDES DE SENsoRES SEM FIO**

**LETICIA TOLEDO MAIA ZOBY**

**ORIENTADOR: JOSÉ CAMARGO DA COSTA**

**CO-ORIENTADORA: LINNYER BEATRYS RUIZ**

**TESE DE DOUTORADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PUBLICAÇÃO: PPGEAH.TD - 070/13**

**BRASÍLIA/DF: MARÇO - 2013.**



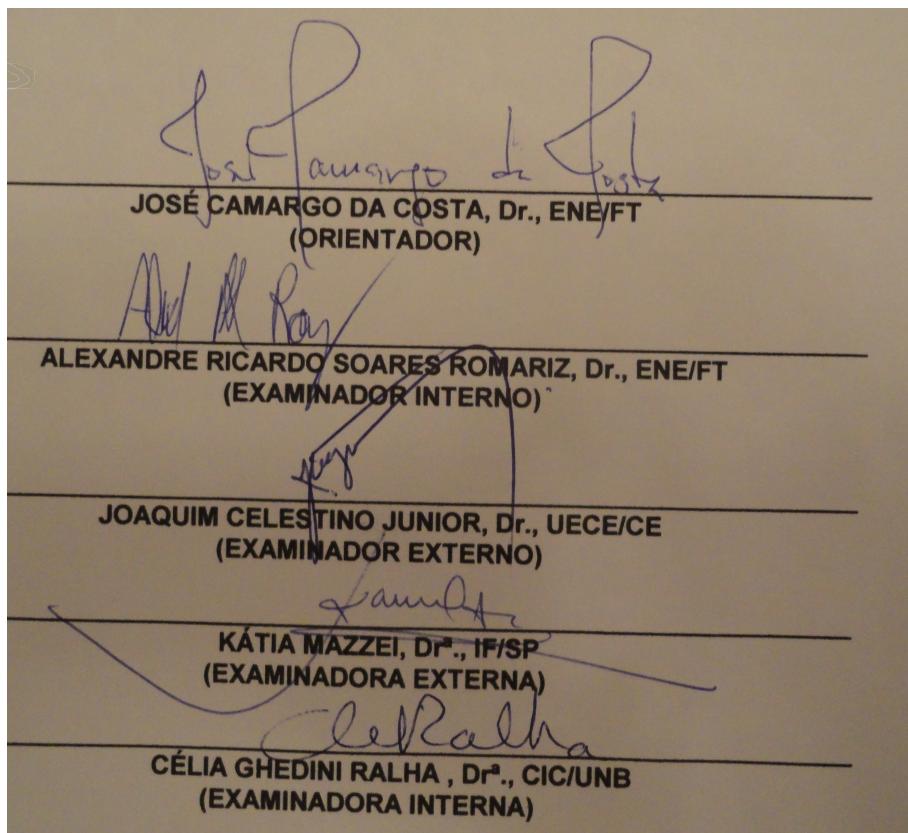
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

METODOLOGIA PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE  
ARCABOUÇOS INTELIGENTES PARA O AUXÍLIO AO  
PROJETO DE REDES DE SENsoRES SEM FIO

LETICIA TOLEDO MAIA ZOBY

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR.

APROVADA POR:



BRASÍLIA/DF, 22 DE MARÇO DE 2013.

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

ZOBY, LETICIA TOLEDO MAIA

Metodologia para implementação de Arcabouços Inteligentes para o Auxílio ao Projeto de Redes de Sensores Sem Fio [Distrito Federal] 2013.

xvii, 139p., 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Doutor, Enghenharia

Elétrica, 2013). Tese de Doutorado - Universidade de Brasília.

Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Projeto de Redes de Sensores Sem Fio

2. Arcabouço

3. Metodologia

4. Ecologia de Rodovias

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

ZOBY, L. T. M. (2013). Metodologia para implementação de Arcabouços Inteligentes para o Auxílio ao Projeto de Redes de Sensores Sem Fio. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGEA.TD-070A/13 Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 139p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: Letícia Toledo Maia Zoby.

TÍTULO: Metodologia para implementação de Arcabouços Inteligentes para o Auxílio ao Projeto de Redes de Sensores Sem Fio.

GRAU:Doutor ANO:2013

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Letícia Toledo Maia Zoby  
SQN 311, bloco B, apto 312, Asa Norte  
70757-020 Brasília - DF - Brasil.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me permitido trilhar este caminho, proporcionando oportunidade de crescer e por enviar as pessoas certas para caminharem comigo.

Ao Zé, meu querido esposo, por toda força, paciência e amor. Pelo companheirismo na reta final (fins de semana na biblioteca e noites mal dormidas) e o carinho e por ser minha inspiração.

Aos meus pais por todo carinho, apoio e estímulo dos meus estudos. Vocês são meus exemplos de vida e admiração.

Às minhas irmãs, Lidia e Natália, pela amizade, força e ternura e por mais uma conquista.

À minha grande amiga e irmã Anna Paula pelos momentos maravilhosos que passamos juntas nesta jornada e por estar sempre ao meu lado.

Ao meu amigo e irmão Cláudio por toda ajuda (contribuições valiosas) e pela amizade.

Ao Professor Camargo, pela orientação e por ter continuado a acreditar no meu potencial. Em especial por todo o ensinamento ao longo da tese, pelo carinho e amizade, tornando-se um exemplo a ser seguido.

À professora Linnyer, por ter me recebido com tanto carinho, pelo apoio e suas maravilhosas contribuições para o desenvolvimento desta tese. Por todo aprendizado não só da tese, mas para a vida também.

À Professora Célia pelo apoio, incentivo e contribuições.

Aos amigos do laboratório LDCI, Gilmar, Genival, Marcela, Bia, Ana Clara, Ingrid e Pedro, que encontrei ao longo do caminho, pelo convívio, contribuições e deliciosas conversas.

## **RESUMO**

**Metodologia para implementação de Arcabouços Inteligentes para o Auxílio ao Projeto de Redes de Sensores Sem Fio.**

**Leticia Toledo Maia Zoby**

**Orientador: José Camargo da Costa**

**Co-orientadora: Linnyer Beatrys Ruiz Aylon**

**Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica**

**Brasília, março de 2013**

As Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) representam uma tecnologia promissora com potencial para diversas aplicações como saúde, meio ambiente e área militar. Os trabalhos publicados abordam, de forma geral, aspectos específicos de uma RSSF. O arcabouço Ambiente de Desenvolvimento de Redes de sensores sem fio Inteligente (ADRIX) representa uma nova abordagem para o desenvolvimento de uma RSSF, pois apresenta uma sequência ordenada e estruturada de etapas que devem ser realizadas durante a concepção, o desenvolvimento até a implementação da rede. Permite assim orientar e auxiliar o projetista na construção de uma RSSF. O ADRIX é composto por seis módulos: especificação, organização, otimização, ferramentas, serviço e gerenciamento. Técnicas de Inteligência Artificial podem ser aplicadas em alguns módulos, a fim de apoiar o processo de tomada de decisão. O ADRIX foi parcialmente implementado com o objetivo de propor o *hardware* para qualquer aplicação de RSSF. A fim de demonstrar o potencial do arcabouço, foram realizados dois estudos de caso na área de ecologia de rodovias: monitoramento de incêndios florestais e dos felinos. Além disso, foram implementadas duas unidades de simulação e de protocolo de roteamento, os quais podem ser acopladas ao arcabouço. A validação destas unidades foi realizada considerando uma aplicação em incêndios florestais.

## **ABSTRACT**

**Methodology for the implementation of intelligent frameworks for WSN computer aided design**

**Leticia Toledo Maia Zoby**

**Supervisor: José Camargo da Costa**

**Co-Supervisor: Linnyer Beatrys Ruiz Aylon**

**Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica**

**Brasília, march de 2013**

Wireless Sensor Networks (WSN) represent a promising technology with the potential for many applications such as health, environment and military area. Most of the published papers only address specific topics of a WSN. The framework for Intelligent Development Environment for Wireless Sensor Networks (ADRIX) presents a new approach to the development of a WSN. An ordered and structured sequence of steps that must be performed during the design, development until network implementation is presented. The ADRIX framework guides and assists the designer in the WSN construction. The ADRIX consists of six modules: specification, organization, optimization, tools, services and management. Artificial Intelligence techniques can be applied to some modules in order to support the decision making process. The ADRIX was partially implemented to propose the hardware for any WSN application. In order to demonstrate the framework's potential, two case studies of road ecology were conducted: forest fire and feline monitoring. In addition, two simulation and routing protocol, units were implemeted which can be coupled to the framework. The validation of these units were performed using forest fire applications.

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS . . . . .	3
1.2 CONTEÚDO E ORGANIZAÇÃO . . . . .	4
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>5</b>
2.1 REDES DE SENsoRES SEM FIO . . . . .	5
2.1.1 Características . . . . .	6
2.1.2 Tipos de Redes . . . . .	7
2.1.3 Modelo Funcional . . . . .	9
2.1.4 <i>Hardware</i> . . . . .	10
2.1.5 Ferramentas de Simulação . . . . .	12
2.2 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E APLICAÇÕES EM REDES SENsoRES SEM FIO . . . . .	17
2.2.1 Redes de Sensores Sem Fio . . . . .	18
2.2.2 Sistema Especialista . . . . .	18
2.2.3 Sistema Multiagentes . . . . .	21
2.3 ECOLOGIA DE RODOVIAS . . . . .	26
2.3.1 Ecologia do Fogo . . . . .	26
2.3.2 Ecologia dos Felinos . . . . .	28
<b>3 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO DE REDE INTELIGENTE</b>	<b>30</b>
3.1 METODOLOGIA DE PROJETO DE REDES DE SENsoRES SEM FIO	30
3.2 ARQUITETURA DO ADRIX . . . . .	36
3.3 ARQUITETURA DO MÓDULO INFÉRENCIA . . . . .	38
<b>4 IMPLEMENTAÇÃO DO ARCABOUÇO ADRIX</b>	<b>45</b>
4.1 ARQUITETURA . . . . .	46
4.2 LINGUAGEM . . . . .	49
4.3 BANCO DE DADOS . . . . .	56
4.4 EQUAÇÕES . . . . .	59
4.5 UNIDADES . . . . .	63

4.5.1	Unidade de Simulação . . . . .	63
4.5.2	Unidade de Protocolo de Roteamento . . . . .	71
<b>5</b>	<b>RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO</b>	<b>75</b>
5.1	ADRIX - INTERFACE E FUNCIONAMENTO . . . . .	75
5.2	ADRIX - APLICAÇÃO NA ECOLOGIA DE RODOVIAS . . . . .	100
5.3	UNIDADE DE SIMULAÇÃO . . . . .	102
5.4	UNIDADE DE PROTOCOLO DE ROTEAMENTO . . . . .	103
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>111</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		<b>115</b>
<b>APÊNDICES</b>		<b>130</b>

## **LISTA DE TABELAS**

2.1	Inteligência Artificial em Redes de Sensores Sem Fio . . . . .	18
3.1	Tabela Conjunto . . . . .	40
3.2	Tabela Estrutura . . . . .	41
4.1	Parâmetros dos tipos de dados . . . . .	62
4.2	Descrição do PAGE . . . . .	65
5.1	Parâmetros da Simulação . . . . .	103

## **LISTA DE FIGURAS**

2.1	Componentes de um nó sensor . . . . .	11
2.2	Arquitetura de um SE [63] . . . . .	20
3.1	Atividade da metodologia de construção do ADRIX . . . . .	31
3.2	Atividades . . . . .	33
3.3	Objetivos - Atividades . . . . .	33
3.4	Diagrama de blocos para o projeto de RSSF . . . . .	34
3.5	Arquitetura ADRIX . . . . .	37
3.6	Arquitetura módulo Inférenca . . . . .	39
4.1	Módulos implementados . . . . .	47
4.2	Arquiterura da implementação . . . . .	48
4.3	Dependênci - Respostas . . . . .	50
4.4	Dependênci - Questão . . . . .	50
4.5	Representação de árvore de uma questão . . . . .	51
4.6	Representação de árvore . . . . .	52
4.7	Representação da linguagem QNRD . . . . .	53
4.8	Árvore gramatical de uma questão . . . . .	53
4.9	Árvore gramatical de uma questão . . . . .	54
4.10	Árvore gramatical de uma questão . . . . .	54
4.11	Incluir respostas . . . . .	55
4.12	Tabelas BD ADRIX . . . . .	57
4.13	Arquitetura comportamental da rede. . . . .	67
4.14	Diagrama de bloco da simulação . . . . .	68
4.15	Banco de dados . . . . .	70
4.16	Arquitetura de rede em JADE . . . . .	71
5.1	Interface Gráfica . . . . .	76
5.2	Critícias do formulário . . . . .	77
5.3	Criar conta no arcabouço . . . . .	78
5.4	Listagem dos questionários . . . . .	79
5.5	Início do questionário . . . . .	80

5.6	questionário . . . . .	80
5.7	Menu . . . . .	81
5.8	Lista dos usuários . . . . .	82
5.9	Inclusão de perguntas . . . . .	83
5.10	Listagem das perguntas pertencentes ao questionário . . . . .	84
5.11	Inclusão de respostas . . . . .	85
5.12	Listagem das respostas . . . . .	86
5.13	Inclusão de microcontrolador . . . . .	87
5.14	Listagem dos microcontroladores . . . . .	88
5.15	Inclusão do transceptor . . . . .	89
5.16	Listagem dos transceptores . . . . .	90
5.17	Inclusão da plataforma . . . . .	91
5.18	Listagem da plataforma . . . . .	92
5.19	Inclusão de artigos . . . . .	94
5.20	Listagem dos artigos cadastrados . . . . .	95
5.21	Gerenciamento do questionário . . . . .	96
5.22	Resumo . . . . .	97
5.23	Soluções - ADRIX . . . . .	99
5.24	Banco de dados . . . . .	101
5.25	Saída do simulador . . . . .	102
5.26	Protocolo HACBA . . . . .	104
5.27	CHs atribuídos ao protocolo LEACH . . . . .	105
5.28	CH atribuídos ao protocolo HACBA-70 . . . . .	106
5.29	CH atribuídos ao protocolo HACBA-15 . . . . .	107
5.30	Quantidade de pacotes enviados à estação base em função da rodada . . . . .	108
5.31	Energia em função da rodada . . . . .	109
5.32	Número de nós sensores mortos em função da rodada . . . . .	110
6.1	Plataformas Comerciais . . . . .	136
6.2	Especificações de microprocessadores . . . . .	136
6.3	Especificações de transceptores . . . . .	137

# 1 INTRODUÇÃO

As redes de sensores sem fio (RSSF) representam uma tecnologia de comunicação, de microcontroladores e de microssistemas eletromecânicos [1] [2] que se apresenta promissora em função do seu potencial de desenvolvimento e de sua ampla possibilidade de aplicações, que inclui, entre outros, o monitoramento ambiental, a vigilância militar e a saúde.

Uma RSSF consiste essencialmente de nós sensores com capacidade de sensoriamento, aquisição de dados, comunicação, transmissão e recepção dos dados, processamento e armazenamento dos dados [1]. Os nós sensores são dispostos sobre uma área geográfica formando, de maneira autônoma, uma rede para monitoramento do ambiente. Estes dispositivos estão interligados a uma infraestrutura computacional robusta.

A origem das pesquisas relacionadas à RSSF remonta ao final da década de 70 e início dos anos 80, quando foram desenvolvidos trabalhos que adotavam o conceito de rede de sensores distribuídos na qual nós sensores colaboravam entre si, mas operavam de forma autônoma. Os sensores, então utilizados, apresentavam tamanhos grandes, que limitava o número potencial de aplicações. Além disso, não havia uma associação direta com a conectividade sem fio [3].

A retomada de pesquisas sobre RSSF somente aconteceu anos depois, por volta de 1998, quando a tecnologia passou a atrair cada vez mais o envolvimento científico internacional. Neste novo contexto, os sensores apresentam tamanhos menores e são de menor custo. Contribuiu também para esta retomada a publicação de protocolos de comunicação sem fio [3].

Os diversos estudos realizados desde então apresentam uma ampla variedade de temas que envolvem RSSF, sendo que o foco tem se concentrado basicamente em três abordagens: *hardware*, aplicações e sistemas.

Na questão de *hardware*, verifica-se, em geral, que existe um equipamento previamente adquirido para o qual é analisada a capacidade da plataforma em atender aos requisitos da rede. Como exemplos de trabalhos desenvolvidos e que consideram esta abordagem,

podem ser citados [4] [5].

Nas aplicações, existe um objetivo estabelecido como, por exemplo, o monitoramento de pessoas ou de cargas, para os quais são apresentados os resultados obtidos e, em alguns casos, as técnicas de otimização empregadas. Alguns trabalhos realizados nesta linha são [6] [7].

Nos sistemas, o foco está voltado ao conjunto de elementos inter-relacionados que interagem no desempenho de um processo específico dentro da RSSF, tais como o roteamento e os protocolos. Para exemplificar, podem ser citados os trabalhos de [8] [9] [10].

De um modo geral, estas abordagens consideram aspectos específicos do desenvolvimento de uma RSSF. Verifica-se uma lacuna na literatura de trabalhos que avaliem de forma abrangente e ordenada as etapas necessárias para a construção de uma rede.

Esta abordagem sistemática envolve etapas que incluem desde a concepção, o desenvolvimento, a simulação até a implantação de uma RSSF. As especificidades associadas a cada um destes estágios deve ser considerada, bem como as interfaces que a RSSF apresenta com diversas áreas de conhecimento.

Neste aspecto cumpre destacar que o desenvolvimento e a pesquisa em RSSF envolvem áreas variadas como, por exemplo, microeletrônica, telecomunicações e processamento de sinais. Assim, além do entendimento do funcionamento e das características de RSSF, faz-se necessário considerar, na sua construção, sistemas de radiofrequência, arquitetura de processadores, otimização de recursos, gerenciamento de energia, conhecimento em plataformas e sistemas operacionais e gerenciamento em banco de dados, entre outros.

Esta tese apresenta um arcabouço para auxiliar os projetistas de RSSF no planejamento e *design* de redes, fornecendo uma visão integrada de todos os requisitos que são necessários para a sua construção.

O arcabouço foi projetado de forma genérica, de modo a atender diferentes tipos de aplicação dentro de um novo conceito proposto, que é o do Ambiente de Desenvolvimento de Rede de sensores sem fio Inteligente (ADRIX). O ADRIX visa, em última instância, fornecer aos projetistas de RSSF um suporte que resulta em ganhos em

função da redução de tempo e de custos. Para tal, emprega técnicas de Inteligência Artificial (IA).

A implementação do arcabouço foi realizada com foco na definição das especificações de *hardware* para atender qualquer aplicação em RSSF. Para demonstração do potencial do arcabouço foi selecionada a aplicação em ecologia de rodovias, envolvendo dois estudos de caso: monitoramento de incêndios florestais e monitoramento de felinos.

Adicionalmente, foram implementadas duas unidades para serem acopladas ao arcabouço, que são de simulação e de protocolo de roteamento.

Por fim, cumpre destacar que a pesquisa desenvolvida nesta tese está apoiada pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Sistemas Micro e Nanoeletrônicos - INCT NAMITEC do Governo Federal.

## 1.1 OBJETIVOS

Esta tese tem como objetivo geral apresentar um arcabouço para a construção de uma RSSF desde a sua etapa inicial, de concepção em função dos objetivos, até a final, de especificação das necessidades de *hardware* e de *software*.

O arcabouço visa proporcionar os seguintes subsídios para os projetistas:

- organização das atividades de desenvolvimento de uma RSSF em etapas;
- fornecimento de uma visão integrada da arquitetura e da configuração da rede e dos nós sensores;
- otimização das tarefas e das tomadas de decisão a serem executadas por meio da aplicação de técnicas de IA.

Com o objetivo de demonstrar o potencial do arcabouço proposto, o mesmo foi implementado de modo a fornecer subsídios para a escolha dos requisitos de *hardware*, que poderá ser uma plataforma comercial ou um nó dedicado.

O desenvolvimento foi realizado para permitir a sua utilização para qualquer aplicação de RSSF. De forma a demonstrar o potencial do arcabouço, foram selecionados dois estudos de caso na área da ecologia de rodovias.

Cumpre ressalvar que o desenvolvimento completo do arcabouço não foi realizado no âmbito desta tese. Esta tarefa tem o potencial para desenvolvimento de trabalhos futuros, pois envolve atividades de longo prazo e que exigem a integração de especialistas em diferentes áreas do conhecimento de computação e eletrônica, bem como das diferentes áreas de aplicação de RSSF.

## 1.2 CONTEÚDO E ORGANIZAÇÃO

O conteúdo desta tese está dividido em 6 capítulos.

No Capítulo 2, são abordados conceitos fundamentais sobre RSSF e aqueles associados à IA e à ecologia de rodovias. Estes dois últimos são temas importantes para a compreensão do processo de concepção e de validação do arcabouço apresentado nesta tese.

No Capítulo 3 é apresentada a visão conceitual do arcabouço ADRIX e a sua arquitetura. Os módulos que compõem o ADRIX são descritos de forma detalhada, assim como as suas interfaces e o potencial de utilização da IA. São sistematizados os aspectos mais significantes da construção de RSSF, enquanto os temas considerados mais críticos são destacados e os trabalhos correlatos mais relevantes indicados.

O Capítulo 4 trata da implementação do arcabouço que permite a seleção de *hardware* em aplicações de RSSF. Adicionalmente, são apresentadas duas unidades do ADRIX, sendo uma que emprega IA para simulação e outra que envolve um novo protocolo de roteamento.

O Capítulo 5 apresenta os resultados da implementação do ADRIX e a sua aplicação na ecologia de rodovias considerando dois estudos de caso: monitoramento de incêndios florestais e monitoramento de felinos. Além disso, são apresentados os resultados da implementação das unidades do ADRIX, de simulação e de protocolo de roteamento, que foram validadas na aplicação em incêndios florestais.

Por fim, no Capítulo 6, são apresentadas as conclusões e propostas linhas de pesquisa para a execução de trabalhos futuros visando ao desenvolvimento completo do ADRIX.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados conceitos fundamentais sobre RSSF e são abordadas a IA e a ecologia de rodovias associadas à utilização de RSSF.

Cabe ressaltar que a IA foi aplicada na concepção da arquitetura e na implementação do arcabouço apresentado nesta tese. Especificamente a aplicação do arcabouço foi focada em dois estudos de caso da ecologia de rodovias: incêndios florestais e felinos. Adicionalmente, a IA foi utilizada na unidade de simulação do arcabouço.

### 2.1 REDES DE SENsoRES SEM FIO

As RSSF são consideradas umas das mais importantes tecnologias do século o que está diretamente associada ao grande avanço em comunicação sem fio, microcontroladores e microssistemas eletromecânicos (*MEMS - Micro Electro-Mechanical Systems*) [2] [11]. Existe uma ampla variedade de aplicações para RSSF. Entre as áreas mais importantes, podem ser destacados: militar [12], meio ambiente [13], agricultura [14] [15], medicina [6] [16], logística [17], industrial [18] [19] e ambientes internos [7] [20].

Uma RSSF é formada por um conjunto de dispositivos chamados de nós sensores ou nodos, que combinam capacidade de processamento e comunicação sem fio. Cada nó sensor pode ser visto como uma entidade computacional autônoma [21]. Os nós sensores coletam dados por meio dos sensores e enviam as informações via comunicação sem fio para um nó sorvedouro, também conhecido por *sink*. Estes dispositivos normalmente estão interligados a uma infraestrutura computacional mais robusta por meio de um *gateway*.

As RSSF são formadas por dezenas a milhares de nós sensores distribuídos em um ambiente com a principal finalidade de monitorar e transmitir alguma característica física do meio em que se encontram. As três principais funções destes nós sensores são: coletar, controlar e atuar [22].

### 2.1.1 Características

As RSSFs possuem características semelhantes a redes *ad hoc* [23], mas há aspectos singulares de acordo com as áreas em que são aplicadas [24]:

- Auto-organização: devido ao término da bateria ou outra falha em um nó sensor, este poderá não fazer mais parte da rede. Assim, é possível a alteração nos nós sensores como mudança na topologia, reconfiguração e auto-ajuste da rede, de forma colaborativa;
- Capacidade computacional: devido a limitações de custo, tamanho e energia, o espaço de memória de um nó sensor é muito reduzido;
- Capacidade de Comunicação: é limitada em função da largura de banda e das dificuldades da comunicação (distância), que é influenciada por fatores ambientais como montanhas, prédios e chuvas. Por isso, o *software* e *hardware* de RSSF devem ser robustos e tolerantes a falhas de segurança;
- Restrições de energia: em algumas aplicações o tempo de vida de um nó sensor depende da quantidade de energia disponível. Por isso, algoritmos e protocolos devem ser analisados e considerados com antecedência para a conservação de energia.

Há muito fatores que influenciam um projeto de RSSF, devido a sua interdisciplinaridade, como [2] [11]:

- Consumo de energia: aspecto relevante, uma vez que, ao reduzir o consumo de energia, a vida da rede é prolongada. Este é um importante fator em aplicações nas quais não se pode trocar a bateria, assim como para a redução de custos, nos casos em que é possível a sua substituição;
- Custo: é fundamental a sua redução na produção dos nós sensores pelo seu impacto sobre os custos da rede. Cabe destacar que, em alguns casos, os nós sensores são implantados em ambiente hostil e não podem ser reutilizados;
- Escalabilidade: é importante que os protocolos de rede, desenvolvidos para RSSF, sejam escaláveis, pois o número de nós sensores pode estar na ordem de dezenas, centenas ou milhares.

- Tolerância a falhas: nós sensores são propensos a falhar, serem desconectados da rede devido à falta de energia, a danos físicos ou a interferências ambientais. Por isso, um único nó sensor não deve afetar a operação global da rede, que deve possuir capacidade de auto-teste, auto-calibração, auto-reparo e auto-recuperação.

### 2.1.2 Tipos de Redes

As RSSFs podem ser classificadas, de acordo com [25], segundo sua configuração, sensoriamento, processamento e comunicação. Esta classificação é função das características da aplicação.

No que diz respeito à configuração, uma rede pode ser classificada como:

- Composição
  - Homogênea ou Heterogênea: homogênea se refere a uma rede composta de nós que apresentam a mesma capacidade de *hardware*. Eventualmente os nós podem executar *softwares* diferentes.
- Organização
  - Hierárquica ou Plana: hierárquica apresenta formação de grupos (*clusters*) na sua organização. Cada grupo terá um líder (*cluster-head*) que poderá ser eleito pelos nós comuns.
- Mobilidade
  - Estacionária ou Móvel: os nós sensores estacionários são aqueles que, depois de depositados, permanecem no local durante todo o tempo de vida da rede.
- Densidade
  - Balanceada, Densa ou Esparsa: balanceada apresenta uma concentração e distribuição de nós sensores por unidade de área considerada ideal, já a densa exibe alta concentração. A esparsa, por sua vez, caracteriza-se pela baixa concentração.
- Distribuição
  - Irregular ou Regular: irregular consiste de uma rede com distribuição não uniforme dos nós sensores na área monitorada.

- Tamanho
  - Pequena, Média ou Grande: pequena, quando a rede é composta de até uma centena de elementos de rede; média, composta de centenas; e grande, composta por milhares.

Outro fator é o modo de sensoriamento que pode ser por:

- Coleta periódica: dados sobre o fenômeno são coletados em intervalos regulares.
- Coleta contínua: a coleta de dados é contínua.
- Coleta seletiva: dados são coletados quando ocorrem eventos de interesse ou quando solicitado pelo observador.

A forma de processamento:

- Cooperação
  - Infraestrutura: os nós sensores executam procedimentos relacionados à infraestrutura da rede como, por exemplo, algoritmos de controle de acesso ao meio, roteamento, eleição de líderes, descoberta de localização e criptografia;
  - Localizada: os nós sensores executam, além de procedimentos de infraestrutura, algum tipo de processamento local como a tradução dos dados coletados pelos nós sensores baseado na calibração;
  - Correlação: procedimentos de correlação de dados dos nós sensores como fusão, supressão seletiva, muti-resolução e agregação.

Com relação à comunicação, as RSSF são classificadas em:

- Disseminação
  - Programada: os nós sensores disseminam dados em intervalos regulares;
  - Contínua: os nós sensores disseminam os dados continuamente;
  - Sob eventos: os nós sensores disseminam os dados, quando ocorre um evento pré-determinado;

- Sob demanda: os nós sensores disseminam os dados em resposta à consulta do observador e à ocorrência de eventos.

- Tipo de Conexão

- Simétrica ou Assimétrica: simétrica, quando todas as conexões existentes entre os nós sensores, com exceção do *sink*, têm o mesmo alcance.

- Transmissão

- *Simplex*: os nós sensores possuem transceptor que permite apenas transmissão da informação;
- *Half-duplex*: os nós sensores possuem transceptor que permite transmitir ou receber em um determinado instante;
- *Full-duplex*: os nós sensores possuem transceptor que permite transmitir ou receber dados ao mesmo tempo.

- Alocação de Canal

- Estática ou Dinâmica: na estática, a largura de banda é dividida em partes iguais na frequência, no tempo, no código, no espaço ou ortogonal. A cada nó sensor é atribuída uma parte privada da comunicação, minimizando interferência.

- Fluxo de Informação

- *Flooding*: neste tipo de rede, os nós sensores fazem *broadcast* de suas informações para seus vizinhos que fazem *broadcast* desses dados para outros até alcançar o ponto de acesso.
- *Multicast*: os nós sensores formam grupos e usam o *multicast* para a comunicação entre os membros do grupo.
- *Unicast*: os nós sensores podem se comunicar diretamente com o ponto de acesso usando protocolos de roteamento multisaltos.
- *Gossiping*: os nós sensores selecionam os nós para os quais enviam os dados.
- *Bargaining*: os nós sensores enviam os dados somente se o nó destino manifestar interesse.

### 2.1.3 Modelo Funcional

As principais funcionalidades das redes de sensores podem ser separadas em cinco grupos de atividades, como proposto em [25]:

- Estabelecimento da rede: essa atividade envolve a disposição dos nós sensores e formação da rede, incluindo a descoberta de localização e/ou formação de clusters;
- Manutenção: o objetivo da manutenção é prolongar o tempo de vida da rede, corrigir situações de anormalidade provocadas por falhas dos nós sensores e atender aos requisitos da aplicação. Nessa etapa pode haver uma nova distribuição de nós sensores e uma nova organização da rede;
- Sensoriamento: as atividades estão relacionadas com a percepção do ambiente, tais como ruídos, as distâncias do alvo e a coleta de dados (tipos e frequência). A atividade de coleta de dados envolve cálculo da área de cobertura dos nós sensores. Também é importante prover mecanismos de tolerância a falhas, pois os nós sensores podem falhar ou haver falta de energia, destruição ou inoperância temporária;
- Processamento: pode ser de suporte, que envolve gerenciamento, comunicação e manutenção da rede, ou da informação, em que os dados coletados são processados em função da aplicação e/ou do desenvolvimento do nó sensor em relações de colaboração;
- Comunicação: representam uma conexão entre a internet e o mundo físico. Uma característica é a variação do tempo do canal em função dos enlaces de comunicação, sendo que a variação pode ocorrer devido a perdas no caminho pela atenuação da distância.

Estas atividades são simultâneas em suas ocorrências e podem estar ativas em diferentes momentos do tempo de vida das redes de sensores [22].

#### **2.1.4    *Hardware***

Grande parte dos avanços e desafios em RSSF tem sido realizada no sentido de desenvolver o *hardware*, que é considerado um aspecto crítico para a rede. Nas diversas aplicações descritas na literatura são utilizadas tanto plataformas comerciais, como em [26], quanto plataformas dedicadas, tal como em [13].

Existem trabalhos sobre RSSF que são dedicados à descrição das plataformas comerciais disponíveis no mercado, que realizam análises comparativas e, em alguns casos, propõem formas de aumentar seus desempenhos. Como exemplos relevantes destes trabalhos, cabe citar [27] [28] [29] [30].

Os principais componentes de um nó sensor são as unidades de energia, de sensoramento, de processamento e de comunicação, conforme apresentado na Figura 2.1.

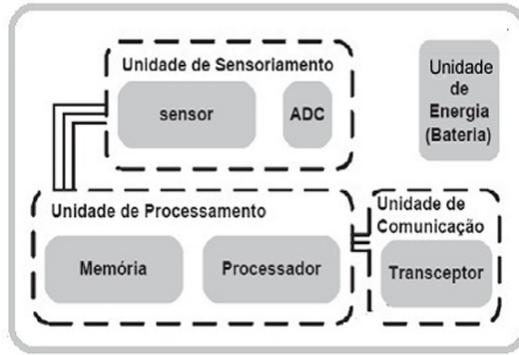


Figura 2.1: Componentes de um nó sensor

A unidade de comunicação geralmente é composta pelo transceptor, importante dispositivo de *hardware* que é responsável pela comunicação entre nós sensores de uma RSSF. Precisa correlacionar o alcance de transmissão e baixo consumo de energia.

Alguns trabalhos indicam que o transceptor é um dos principais consumidores de energia, como apresentado em [31]. Em RSSF normalmente é usada a unidade de dBm (*decibel miliwatt*) para medir a sensibilidade de recepção e potência de transmissão. Os valores da sensibilidade do receptor, encontradas nos *datasheets*, variam entre -85 e -110 dBm.

Existem algumas técnicas para melhorar a relação sinal/ruído do transceptor como modulações e filtragens [32]. Cabe destacar também que, em geral, os transceptores funcionam com quatro modos de operação: transmitindo, recebendo, ocioso e dormindo. Para exemplificar, transceptores comumente utilizados em RSSF são CC1000 [33] e CC2420 [34].

A unidade de processamento é composta basicamente por microprocessador e memória. Ela é responsável pela análise e armazenamento dos dados provenientes dos sensores e tenta minimizar os dados a serem transmitidos por um processamento local. O microprocessador possui interfaces para serem integradas com memórias, conversor AD e entrada digital/analógica.

Algumas características relevantes de microprocessadores são o consumo de energia, que tem variação de 0,25 a 2,5mA por MHz, a voltagem, que opera entre 2,7 a 3,3V, e

a velocidade, cuja média é de 4MHz. A memória é também importante, porque envolve a capacidade de armazenar os dados recebidos pelo nó sensor. Geralmente o tamanho das memórias RAM disponíveis no mercado varia de 32 a 128 KB. Como exemplos de modelos de microprocessadores, podem ser citados MSP430 [35], ARM920T [36] e IntelPXA271 [37].

A unidade de sensoriamento é formada por sensor e conversor AD (ADC). O ADC digitaliza os sinais analógicos de um nó sensor em sinais digitais que são interpretados pelos processadores. Um ADC de 8 bits pode codificar uma entrada analógica em até  $2^8$ , que equivale a 256 diferentes níveis. Estes valores podem compreender uma variação de 0 a 255 [38]. O sensor, por sua vez, é responsável por coletar dados do ambiente monitorado, que pode envolver vários tipos de variáveis, tais como temperatura, velocidade do vento, pH e agentes químicos. Existem sensores presentes em algumas plataformas comerciais, como na Mica Motes.

A unidade de energia é responsável por armazenar a energia. É uma das partes mais importantes e mais críticas de um nó sensor, pois, em função da aplicação, pode demandar que a rede funcione por um período longo e em lugares de difícil acesso.

Há essencialmente três tipos de baterias usadas em RSSF: alcalina, lítio e níquel [32] que podem ser recarregáveis ou não. A maioria das plataformas utilizam uma fonte finita e escassa composta por baterias do tipo AA alcalinas, de 1,2 V cada e seu consumo é de 2.800mAh (*miliampère-hora*).

### 2.1.5 Ferramentas de Simulação

A construção de RSSF pode envolver métodos experimentais e simulação numérica.

Os métodos experimentais trabalham com o fenômeno real, no qual cada problema é estudado com base em experimentos físicos, os quais apresentam custos mais elevados de tempo e financeiros, apesar de apresentarem os resultados mais precisos.

A simulação numérica, por sua vez, permite a solução de uma gama muito ampla de problemas reais, problemas complexos, através de ferramentas computacionais que apresentam respostas mais rápidas e boa precisão.

Cumpre destacar que a conjugação destes dois métodos é importante para a construção, avaliação e funcionamento de uma RSSF.

A simulação tem sido amplamente utilizada em RSSF, pois representa importante ferramenta para testar diferentes variáveis envolvidas na sua construção e implantação. Para exemplificar, a questão de energia do nó sensor é crítica, pois envolve a vida útil da rede, assim como são importantes os protocolos e *hardware*.

Há várias pesquisas que conduziram ao desenvolvimento de novos simuladores e outras na escolha daquele considerado melhor. Foi realizada, neste trabalho, uma revisão bibliográfica sobre simuladores e emuladores mais utilizados na área de redes.

#### 2.1.5.1 Emuladores:

- ATEMU [39] [40]

- Visão Geral

O ATEMU (ATmel EMULATOR) é um emulador de RSSF, que adota a arquitetura padrão MICA2 (Crossbow) e microprocessador AVR (*Advanced Virtual RISC*). Foi desenvolvido em linguagem C pelo grupo Los Angeles Compilers Group da Universidade da Califórnia. Disponibiliza uma interface gráfica chamada Xatdb e pode emular não só a comunicação entre os sensores, mas também todas as instruções implementadas em cada sensor. Pode ser utilizado em ambiente Linux ou Solaris e apresenta código aberto e documentação *online*.

- Vantagens e Limitações

O ATEMU permite simular nós sensores múltiplos ao mesmo tempo e nós que executam programas diferentes, e emular redes de sensores heterogêneas. Possui uma biblioteca de *hardware*, que permite emular diferentes MICA. Por meio da interface gráfica é possível a depuração do programa quanto ao monitoramento de execuções. No entanto, o ATEMU possui um tempo de simulação maior que outras ferramentas e não possui muitas funções, como a de roteamento.

- TOSSIM [39] [40]

- Visão Geral

TOSSIM é um emulador projetado especificamente para RSSF em aplicações TinyOS, que é um sistema operacional de código aberto e sistema embarcado. Em 2003, TOSSIM foi desenvolvido pelo projeto da Universidade

de Berkeley para ser executado em motes MICA2. É um emulador de redes baseado em eventos discretos construído em Python, uma linguagem de programação de alto nível enfatizando a leitura do código em C++. Pode ser utilizado em ambiente Linux ou Cygwin em Windows, um simulador de código aberto e documentação *online*.

– Vantagens e Limitações

TOSSIM possui GUI (*Graphical User Interface*), TinyViz, baseada na linguagem Java, para visualização, controle e interação com a simulação, ao invés de comandos de textos. Além disso, TOSSIM é um emulador robusto e razoavelmente simples para RSSF. Como é um emulador específico de rede, pode suportar milhares de nós na simulação. Além da rede, TOSSIM pode emular modelos de rádio e de execuções de código. No entanto, ainda tem algumas limitações. Em primeiro lugar, é projetado para simular comportamentos e aplicações de TinyOS, mas não permite simular as métricas de desempenho de novos protocolos. Além disso, nas questões de energia, torna-se necessário adotar outro simulador que também utiliza TinyOS, o PowerTOSSIM. Em segundo lugar, cada nó tem que executar em código nesC, uma linguagem de programação que é orientada a eventos, baseada em componentes e aplicada em TinyOS, de modo que TOSSIM só suporta redes de sensores homogêneas.

#### 2.1.5.2 Simuladores:

- Avrora [39] [40]

– Visão Geral

Especificamente projetado para RSSF, construído em Java, esforça-se para encontrar um meio termo entre TOSSIM e ATEMU. Também adota a arquitetura padrão MICA2 e microprocessador AVR. Não possui uma interface gráfica e fornece código aberto e documentação *online*.

– Vantagens e Limitações

Simula em nível de instrução, o que proporciona maior velocidade e melhor escalabilidade. Avrora pode suportar milhares de nós (cerca de 10.000) e com melhor tempo de execução (cerca de 20 vezes mais rápido do que o TOSSIM e ATEMU). Diferentemente do TOSSIM e ATEMU, foi desenvolvido em linguagem Java.

- J-Sim [39] [41]

- Visão Geral

Este é um simulador de eventos discretos de rede com uma arquitetura de *software* baseada em Componentes Autônomos (*Autonomous Component Architecture - ACA*) desenvolvido em linguagem Java. No ACA, as entidades básicas são os componentes, que se comunicam através da troca de dados (mensagens) pelas portas de comunicação dos componentes. O J-Sim permite que novos componentes sejam inclusos, levando em consideração a separação de *software* e *hardware*, e desta maneira, novos componentes podem ser adicionados em tempo de execução.

- Vantagem e Limitações

Os modelos em J-Sim possuem boa capacidade de reutilização e permutabilidade. Contêm grande número de protocolos e podem suportar difusões de dados e simulações de localização, canais de rádio, modelo de bateria, processador e consumo de energia em RSSF. Também fornecem uma biblioteca GUI e uma interface para inserir comandos que integram diferentes linguagens, como Perl e Python. Pode simular cerca de 500 nós sensores. Como não foram projetados especificamente para RSSF, apresentam dificuldades para a inserção de novos protocolos ou nós.

- NS-2 [39] [42]

- Visão Geral

NS-2 (*Network Simulator*, versão 2) é um simulador de eventos discretos de rede, utiliza a linguagem C++, orientada a objetos, e extensão da TCL (*Tool Command Language*). Pode ser utilizado em ambiente Linux ou em Cygwin, ambiente Unix, por linha de comando e execução em Windows. É um simulador de código aberto.

- Vantagens e Limitações

Uma vantagem deste simulador é a utilização de vários protocolos em todas as camadas. No entanto, apresenta algumas limitações como a necessidade de familiarização com a escrita em *script*, que utiliza comandos TCL para a geração de cenários, embora isso permita a geração automática de cenários complexos. Em algumas aplicações, o NS-2 torna-se mais complexo e requer maior processamento que outros simuladores. O simulador possui uma interface gráfica pobre, não utilizando a GUI, mas há um pacote disponível,

NAM (Network Animator), que permite gerar visualização da execução da simulação. Originalmente o NS-2 foi destinado a simulações baseadas em TCP/IP (*Transmission Control Protocol/ Internet Protocol*) e há problemas em simulações envolvendo protocolos para RSSF. Os protocolos de roteamento *ad hoc* suportado pelo NS-2 são AODV (*Ad-hoc On-Demand Distance Vector*), DSDV (*Destination-Sequenced Distance-Vector Routing*), DSR (*Dynamic Source Rotating*) e TORA (*Temporally Ordered Routing Algorithm*). Há ainda problemas de *bugs* e o NS-2 somente simula modelos simples de energia com redes de até 100 nós. No geral, as simulações de RSSF utilizam o NS-2 e os pesquisadores implementam extensões para uma melhor simulação.

- OMNeT++

- Visão Geral

O OMNeT++ é um simulador de eventos discretos orientado a objetos que utiliza a linguagem C++. Possui dois tipos de licença: comercial e não comercial. Sua arquitetura é modular, o que significa que é possível acoplar novos módulos a ele quando necessário. Executa em ambiente Linux, Unix e Windows. Não é um simulador de nenhuma área específica. É bastante flexível e tem sido muito utilizado pela comunidade científica para simular redes de comunicações [39] [42].

- Vantagens e Limitações

O OMNeT++ usa uma arquitetura modular e modela o comportamento de componentes discretos do sistema que se deseja simular. Estes módulos podem ser combinados usando uma linguagem de alto nível chamada NED, formando módulos compostos. Apesar de o OMNeT++ não ser um simulador de uma área de conhecimento específica, permite que frameworks sejam desenvolvidos e utilizem seu ambiente de simulação. Hoje existem vários frameworks de simulação de rede de sensores baseados em OMNeT++, tais como INET Framework [43] e Mobility Framework [44]. A maioria dos *frameworks* e modelos de simulação em OMNeT ++ são fontes abertas. O OMNeT ++ suporta protocolos da camada MAC e faz simulações de controle de canal e problemas de consumo de energia em RSSF. Mas há limitações quanto ao número de protocolos disponíveis e existem grupos de pesquisas desenvolvendo modelos separadamente. Esse simulador possui uma interface gráfica amigável [39] [42].

## **2.2 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E APLICAÇÕES EM REDES SEN-SORES SEM FIO**

O desejo de resolver problemas cada vez mais complexos tem impulsionado o desenvolvimento da IA [45], que é um ramo da ciência que estuda o conjunto de paradigmas que pretendem justificar como um comportamento inteligente pode emergir de implementações artificiais em computadores [46].

Os trabalhos desenvolvidos pelas máquinas agora buscam integrar, aos sistemas de processamento, características típicas do comportamento inteligente, otimizando-os.

Para se obter um projeto otimizado, utilizam-se usualmente soluções já existentes. A primeira tarefa é identificar os elementos do projeto que podem ser melhorados, de forma a aumentar seu desempenho, reduzir seu custo, ou ambos. Estes elementos a serem melhorados são as variáveis de projeto a serem otimizadas [47].

O projeto ótimo difere do processo tradicional pela introdução de técnicas numéricas, de forma que a alteração do valor de suas variáveis, à medida que se tenta obter melhores soluções, é feita automaticamente, seguindo um procedimento pré-estabelecido, definido pelo método de otimização utilizado. Nos últimos 40 anos, foram desenvolvidas diversas técnicas numéricas para tratar o problema da busca pela otimização [48] [49].

A existência de uma grande variedade de técnicas é resultante de uma constatação prática e teórica: a eficiência de um método de otimização é dependente do tipo de problema que está sendo resolvido, pois não existe uma técnica melhor que todas as outras, mas aquela mais adequada para um dado problema [49] [50].

De fato, os métodos tradicionais para otimização são bastante eficientes, quando aplicados em problemas que apresentam um espaço de projeto convexo com variáveis contínuas e onde a função objeto e suas restrições não possuem características altamente não-lineares. Todavia, muitos problemas em engenharia apresentam espaços de projetos complexos que podem ser não-convexos ou mesmo não-contínuos, com a presença de variáveis de diversos tipos [51]. Essas características reduzem bastante a eficiência dos métodos tradicionais, que tendem a fornecer soluções subótimas.

### 2.2.1 Redes de Sensores Sem Fio

As técnicas de IA têm sido aplicadas à solução de diversos problemas em engenharia, inclusive em RSSF. Neste caso, as aplicações realizadas visam, em geral, obter um aumento da eficiência da rede por meio do controle, auto-organização, monitoramento, manutenção, redução de perda de mensagens e gerenciamento. A otimização promovida permite um tratamento eficiente de problemas complexos em RSSF com unidades de processamento com capacidade limitada. Exemplos da ampla aplicação de técnicas de IA e problemas resolvidos são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Inteligência Artificial em Redes de Sensores Sem Fio

Problema - RSSF	Técnicas de Inteligência Artificial
Energia	Algoritmo Genético [52] Lógica Fuzzy [53] Redes Neurais [54] Sistema Multiagente [54]
Localização	Redes Neurais [55] Algoritmo Genético [56]
Previsão de tráfego (transmissão de dados) e protocolos de roteamento	Sistemas Multiagentes[57]
Fusão de dados	Algoritmo Genético [58]

Nesta tese foram utilizadas duas técnicas de IA para otimização do arcabouço ADRIX - Sistemas Especialistas e Sistemas Multiagentes - que por esse motivo são caracterizadas a seguir.

### 2.2.2 Sistema Especialista

Os Sistemas Especialistas (SEs) são sistemas de IA baseados em conhecimento, que emulam um especialista humano na resolução de um problema significativo em um domínio específico. O SE é projetado e desenvolvido para atender a uma aplicação determinada e limitada do conhecimento humano. É capaz de emitir uma decisão, apoiada em conhecimento justificado, a partir de uma base de informações, tal qual um especialista de determinada área do conhecimento humano [59].

As pesquisas iniciais para o desenvolvimento dos SEs, segundo [60], podem ser atribuídas às seguintes entidades e grupos: universidades, com destaque para a *Stanford University* e a *Carnegie-Mellon University*, os institutos de pesquisas, como *Rand Corporation*, in-

stituto de pesquisa que atua na área da segurança pública, e as empresas de engenharia de *softwares*, como a *APEX-Applied Systems, Inc* e o *CGI-Carnegie Group, Inc.*

O SE, além de inferir conclusões, deve melhorar as decisões e o desempenho de raciocínio. Para tal, utiliza regras de “condição-ação”, que têm como objetivo ajudar a resolver determinado problema por meio de informações reunidas em um banco de conhecimento, inseridas por um especialista humano no assunto [61]. Estas regras, denominadas regras de produção, baseiam-se em pressupostos lógicos, utilizando para isso um vocabulário próprio, de forma que o computador entenda as afirmações verdadeiras, falsas ou condicionais. Desta forma, a utilização do SE / E / ENTÃO definem a lógica de um sistema computacional, fazendo com que ele apresente os resultados pretendidos, baseado na lógica programada. O conhecimento do especialista no assunto a ser programado é então fundamental, para que o sistema chegue a resultados plausíveis [61] [62].

Geralmente o formato das regras é o seguinte:

- Identificador: SE < LHS > ENTÃO ;< RHS1 >;
- SE <condição> ENTÃO <ação>;
- SE < premissa 1 > E < premissa 2 > ENTÃO < conclusão A >.

Onde:

- <LSH (Left-Handed Side)> e <condição>: representam as condições a serem atendidas, envolvendo conjunção, negação ou disjunção e os termos que podem ser desenvolvidos pelas conclusões de outras regras e do estado atual da base de conhecimento;
- <RHS (Right-Handed Side)> e <ação>: produz as conclusões, sendo as condições verdadeiras, altera o estado atual da base de conhecimento, adicionando, modificando ou removendo unidades de conhecimento presentes na base.

A arquitetura de um sistema especialista é dividida em componentes básicos: um banco de conhecimento que contenha todo o conhecimento relevante sobre o problema de uma forma organizada (base de conhecimento); um conjunto de métodos inteligentes

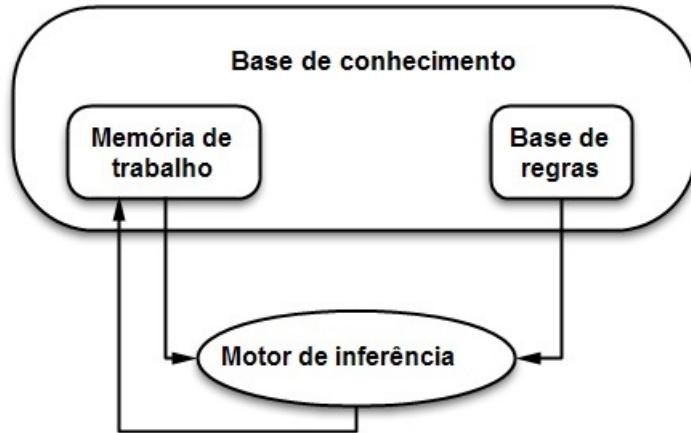


Figura 2.2: Arquitetura de um SE [63]

de manipulação destes conhecimentos e os mecanismos de inferência e interface com o usuário [62]. Esta arquitetura é representada na Figura 2.2.

Cada componente básico é descrito a seguir.

- Base de Conhecimento: consiste na parte central de um SE. É a representação do conhecimento no domínio do problema em questão, geralmente extraída de um ou vários especialistas, de forma declarativa e livre de detalhes de controle e implementação. Idealmente é composta de declarações, em algum formalismo de representação de conhecimento disponível, descrevendo o domínio da aplicação. Na interação entre base, regras, fatos e heurística, motor de inferência e usuário, o sistema encontra a solução para os problemas propostos, podendo inclusive ampliar essa capacidade e sistematicamente aprender com o usuário através de dados novos inseridos;
- Motor de Inferência: também chamado máquina de inferência, é responsável pela manipulação da base de conhecimento durante a resolução de problemas. Recebe esta denominação, porque usa o conhecimento da base e os fatos relativos a uma determinada consulta para obter conclusões. A natureza do motor de inferência depende do formalismo utilizado para representar a base de conhecimento e da estratégia de solução de problemas considerada apropriada pelo projetista do sistema. Ela pode utilizar diversas formas de raciocínio: dedução lógica, regras de decisão, tabelas de decisão, redes semânticas, relacionamentos lógicos, redes Bayesianas, probabilística ou Lógica Fuzzy;

- Interface com o Usuário: todo sistema especialista é interativo e precisa de um componente para gerenciar a interação entre o usuário e o sistema. A interação básica numa sessão de uso de um SE consiste em perguntar questões relevantes, apresentar conselhos, respostas e prover explicações requeridas pelo usuário.

As vantagens e desvantagens dos SEs são as seguintes:

- Vantagens: a decisão é assentada em uma base de conhecimento e existe estabilidade, flexibilidade, integração de ferramentas e agilidade na determinação dos problemas;
- Desvantagens: os sistemas especialistas tendem a trabalhar de uma forma rotineira, sem inspiração ou criatividade, onde não é sintetizado novo conhecimento, há dificuldade de lidar com situações inesperadas (entrada de informação e representação simbólica e não sensória) e não existe conhecimento do senso comum [60].

### **2.2.3 Sistema Multiagentes**

A Inteligência Artificial Distribuída (IAD) é uma das áreas da IA que estuda o conhecimento e os métodos de raciocínio que podem ser necessários ou úteis para que agentes computacionais participem de sociedades de agentes [64]. Existem diversos motivos para distribuir sistemas inteligentes, como [63]:

- Melhorar a adaptabilidade, a confiabilidade e a autonomia do sistema;
- Reduzir os custos de desenvolvimento e de manutenção;
- Aumentar a eficiência e a velocidade;
- Permitir a integração de sistemas inteligentes existentes, de maneira a aumentar a capacidade de processamento e, principalmente, a eficiência na solução de problemas;
- Permitir a integração dos computadores nas redes de atividades humanas.
- Permitir mobilidade entre diversas plataformas.

A IAD é dividida em dois ramos: solução distribuída de problemas (SDP) e sistemas multiagentes (SMA) [63] [64].

A SDP tem como base o problema que é modelado através de uma abordagem descendente *top-down*. A solução do problema é previamente estruturada, e os agentes são desenvolvidos para atuarem conforme o esquema proposto para a solução. Isto significa dizer que grande parte do raciocínio sobre a solução é inserida no sistema pelo projetista, levando ao desenvolvimento de controles geralmente hierárquicos e centralizados [63].

Em um SMA o foco está na estruturação dos agentes e não na estruturação do problema. A preocupação do projetista é desenvolver arquiteturas de agentes que interajam de forma autônoma e social, bem como desenvolver sistemas de comunicação e coordenação para que a solução surja através desta interação. Por esta razão, o problema em SMA é considerado por meio de uma abordagem ascendente *bottom-up* de desenvolvimento [63].

SMA consiste em um número de agentes autônomos que interagem entre si, de acordo com seus objetivos, principalmente por envio de mensagens através de alguma infraestrutura de rede computacional. Para um agente ser considerado inteligente, ele deve ser autônomo, apresentar capacidade de comunicação, de cooperação, de raciocínio, deve ter mecanismos de planejamento para executar suas ações e ser adaptável quanto a mudanças ocorridas no ambiente [65].

De acordo com [66], os principais desafios para desenvolver um SMA são: a) a comunicação, por exemplo, definir como ela será realizada entre os agentes e que tipo de protocolo utilizar; b) a interação, por exemplo, especificar como ela ocorrerá e que linguagens os agentes devem usar para interagirem entre si e combinarem seus esforços; c) a coordenação, ou seja, garantir essa organização entre os agentes, para que haja uma coerência na solução do problema ou no alcance do objetivo.

#### 2.2.3.1 Agentes

Um agente é considerado capaz de perceber seu ambiente por meio de sensores e de agir sobre esse ambiente por intermédio de atuadores. Por exemplo, nos agentes humanos, os olhos e ouvidos são sensores, enquanto as mãos e a boca são atuadores [46].

Um agente inteligente apresenta as seguintes características [65]:

- Autonomia: os agentes operam sem qualquer intervenção direta e possuem alguma forma de controle sobre suas ações e estados internos;
- Reatividade: os agentes percebem o ambiente e reagem a estas percepções;
- Pró-Atividade: os agentes não se limitam a agir em resposta ao seu ambiente e são capazes de tomar a iniciativa e exibir comportamento direcionado por objetivos;
- Habilidade social: os agentes são capazes de interagir com outros agentes através de uma dada linguagem de comunicação.

Os agentes são divididos em quatro classes de acordo com o nível de inteligência embutida, conforme descritos em [46].

- Reativos simples: são agentes estímulo-resposta providos com uma base de conhecimento formada por regras condição-ação;
- Reativos baseado em modelos: em um ambiente parcialmente observável, um modo mais efetivo de gerenciá-lo é o agente manter algum tipo de estado interno que dependa do histórico de percepções e, assim, reflita pelo menos alguns dos aspectos não observados do estado atual. A atualização dessas informações depende de dois tipos de conhecimento a serem codificados no programa de agente: como o mundo evolui independentemente do agente e como as ações do próprio agente afetam o mundo. E esse conhecimento de como o mundo se comporta é denominado modelo de mundo;
- Baseados em objetivo: tenta resolver o problema de se chegar a um estado específico, que pode ser considerado simples, para os casos em que apenas uma ação é suficiente para se chegar a tal condição, ou complexo se o agente tem que executar uma sequência específica de ações para chegar ao estado desejado. Nesse caso, são necessárias técnicas de planejamento e busca para calcular tal sequência de ações;
- Baseados na utilidade: uma função de utilidade mapeia um estado ou uma sequência de estados em um número real, que descreve o grau de utilidade. Essa função especifica o compromisso apropriado em casos onde existem objetivos contraditórios e fornece um meio pelo qual a probabilidade de sucesso pode ser ponderada em relação à importância dos objetivos.

- Agente por aprendizagem: Permite ao agente atuar em ambientes totalmente desconhecidos e se tornar mais competitivo. Baseado em quatro componentes: elemento de aprendizagem, responsável pela execução dos aperfeiçoamentos; crítico, informa ao elemento de aprendizado como o agente está se comportando em relação a um padrão fixo de desempenho; elementos de desempenho, responsável pela seleção de ações externas, e gerador de problemas, responsável por sugerir ações que levarão a experiências novas e informativas.

#### 2.2.3.2 Ambientes

Os agentes percebem e agem sobre o ambiente. A percepção e a ação são definidas pelas características do ambiente. Para concepção de um agente é necessário definir os aspectos envolvendo percepções (*percepts*), ações (*actions*), objetivos (*goals*) e ambientes (*environment*), o PAGE [46]. Nesse PAGE será fornecido um ambiente de tarefa definido por medidas de desempenho do agente, que apresentam as seguintes características:

- Acessível ou Não acessível: acessibilidade a um ambiente existe quando um agente pode obter informações completas, acuradas e atualizadas sobre o estado do mesmo;
- Determinístico ou Não determinístico: um ambiente determinístico é aquele que o próximo estado do ambiente é completamente determinado pelo estado atual e pela ação executada pelo agente;
- Episódico ou Sequêncial: cada episódio consiste da percepção do agente e realização de uma única ação. Crucialmente, o próximo episódio não depende das ações tomadas em episódios anteriores, e, assim, as escolhas das ações são independentes;
- Estático ou Dinâmico: o ambiente estático é aquele que não se altera enquanto o agente atua;
- Discreto ou Contínuo: ambiente discreto é aquele em que existe um conjunto fixo e finito de ações, percepções e estados.

### 2.2.3.3 Arquitetura

A escolha da arquitetura é muito importante para o desenvolvimento de uma metodologia de um projeto, para a sua implementação e validação. As principais arquiteturas de agentes são apresentadas em [65]:

- Arquitetura baseada em lógica: as informações são armazenadas sob forma de representação simbólica e as decisões são tomadas baseadas em deduções lógicas. Os mecanismos de inferência de decisão são robustos, resultando em agentes de grande complexidade;
- Arquitetura reativa: as decisões se baseiam no mapeamento direto entre situação e ação. Tais arquiteturas foram concebidas como alternativa para o uso da IA simbólica [46], devido à dificuldade de tratar alguns problemas através desta última abordagem;
- Arquitetura em camadas: as tomadas de decisão são desenvolvidas em diversos níveis, onde cada camada analisa o ambiente em diferentes níveis de abstração. A organização em camadas pode ser: a) horizontal, todas as camadas têm acesso a entrada sensorial e a saída de ações; b) vertical, apenas uma camada acessa a entrada sensorial, que é passada para as camadas superiores até chegar naquela que controla a saída de ações;
- Arquitetura BDI (*Belief-Desire-Intention*): tem suas origens no estudo de atitudes mentais e considera que as decisões tomadas pelos agentes são baseadas nos seguintes conceitos: crenças, desejos e intenções.

O conceito de SMA no qual agentes garantem a possibilidade de ação cooperativa em sociedade, tratando, assim, de problemas que são, por natureza, distribuídas, tem sido aplicado a funcionalidades de RSSF.

Dante [67] utiliza os conceitos de SMA em RSSF para fusão de dados aplicados em sistema sensível ao contexto. O sistema inteligente de fusão considera informações contextuais, como aqueles referentes à pessoa (sinais vitais) e seu ambiente (temperatura), onde os agentes inteligentes podem gerenciar o fluxo de trabalho. O trabalho avalia que a combinação de agentes e RSSF não é uma tarefa fácil, pois há limitação de recursos, mas que existem várias pesquisas em desenvolvimento [68] [69]. Alkhateeb [70] propõe

um sistema de segurança e/ou monitoramento em campus universitário que se baseia em sistema multiagentes e sensores sem fio.

Uma pesquisa sobre tecnologias de agentes baseados em RSSF é apresentada em [71]. São apresentadas tabelas comparativas das tecnologias de *hardware* para agentes móveis e das estruturas baseadas em agentes de *software* para RSSF.

Há trabalhos ainda envolvendo RSSF e SMA relacionados ao monitoramento de estruturas prediais (*structural health monitoring - SHM*) [72] [73], como falhas ou rachaduras. Liu [74] propõe algoritmos para resolução de problemas de tolerância a falhas em RSSF baseados no SHM.

## 2.3 ECOLOGIA DE RODOVIAS

A construção de rodovias é essencial para o desenvolvimento social e econômico de uma região, mas produz impactos sobre o ecossistema. Representa um dos principais agentes de fragmentação da paisagem, e de aumento da mortalidade de animais e de poluição provocadas pelo tráfego de veículos. Além disso, as rodovias muitas vezes se constituem em focos do desenvolvimento de incêndios florestais.

O termo ecologia de rodovias foi usado e explorado em seus diversos aspectos por [75]. Devido ao seu caráter abrangente, o termo tem interfaces com a ecologia do fogo e a ecologia dos felinos.

### 2.3.1 Ecologia do Fogo

A extensão territorial do Brasil e a diversidade de sua cobertura vegetal, bem como número expressivo de ocorrências de incêndios florestais verificados no País, são fatores que enfatizam a necessidade de um sistema cada vez mais aprimorado e consistente de detecção e combate de incêndios florestais [76].

Os incêndios florestais causam diversos tipos de danos humanos, materiais e ambientais. Os danos ambientais na fauna e flora afetam desde o solo até o aspecto de sobrevivência de áreas não incendiadas, prejudicando os ambientes naturais e o planejamento florestal [77].

A detecção e monitoramento efetuados de forma eficiente e ágil são fundamentais no controle do fogo e na redução de danos e custos associados. Uma das formas de moni-

toramento mais amplamente usadas no mundo envolve a utilização de satélites. Embora os satélites possam varrer grandes áreas em um determinado instante, não permitem detectar incêndios com elevada acurácia e em tempo real [78]. Isto se deve à baixa resolução espacial, que dificulta a identificação em áreas pequenas, ao efeito das condições climáticas, como, por exemplo, a presença de nuvens, e ao período de cobertura, pois satélites apresentam tempos de órbita longos.

As RSSF têm se apresentado como promissoras para o monitoramento em tempo real de incêndios florestais, conforme indica a grande quantidade de trabalhos publicados sobre este assunto.

Embora as abordagens utilizadas sejam variadas, observa-se que uma expressiva parte dos trabalhos se concentra nas questões de desenvolvimento do hardware voltado para a aplicação em incêndios florestais. Como exemplos podem ser citados [79] [80] [81] [82] [83].

Poucos trabalhos apresentam resultados para o conjunto mais amplo de elementos que compõem uma RSSF, ou seja, abordam desde o hardware até a implementação. Podem ser destacados [26] [84] [85] [86] [87]. Cabe destacar que mesmo nestes casos, os experimentos apresentados (implementação) são realizados em condições controladas e por períodos de curta duração.

O Doolin [26] apresenta uma rede composta por sensores Mica2 da Crossbow que se comunicam com uma estação-base que armazena os dados coletados. O sistema operacional usado é o TinyOS. São realizados dois eventos de queima em uma área no qual é analisado o efeito da passagem do fogo sobre o aumento da temperatura e a redução da pressão barométrica e umidade, parâmetros monitorados pelos nós.

Em [84], autores implantam um sistema de detecção de monitoramento de incêndios florestais em parque nacional dos EUA numa área de  $160 \text{ km}^2$  bastante accidentada. A RSSF é composta por sensores de umidade relativa e temperatura e câmeras de vídeo. No trabalho são abordadas as dificuldades e soluções enfrentadas para o desenvolvimento e funcionamento da rede, bem como aspectos relevantes associados como a distribuição de nós, o roteamento, o desempenho na transmissão de dados e a durabilidade das baterias.

Em [85], autores apresentam iForestFire (*Intelligent Forest Fire Monitoring System*)

que foi concebido para detecção de incêndios florestais pela Universidade de Split, na Cróacia. Sua estrutura é composta de câmeras de vídeo, que possuem capacidade para processarem e analisarem a imagem de modo automático, a fim de prevenir a ocorrência de incêndios florestais. Caso seja detectado algum foco é disparado um alarme. O sistema é baseado em três tipos de dados: a) dados de vídeo em tempo real; b) dados meteorológicos em tempo real (temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade do vento e direção do vento); c) banco de dados em um sistema de informações geográficas (SIG). Em [88] é apresentada a arquitetura baseada em agentes, a evolução dos algoritmos das análises e o processamento das imagens e procedimentos para redução de alarmes falsos.

Em [86], autores utilizam sensores de fogo infravermelho e de fumaça e câmeras de vídeo para monitoramento de uma área com 2 km de raio. Em seu trabalho são abordados diversos aspectos da rede tais como a seleção de hardware, a interferência nos sinais para a comunicação, a transmissão de dados e o consumo de energia dos equipamentos.

Em [87], autores apresentam o sistema Sithon que se baseia em câmeras acopladas em torres que contam ainda com painéis de energia solar, antenas bidirecionais para envio de dados e estação meteorológica. O sistema foi testado com 10 câmeras que cobriram uma área de 45 mil hectares na Grécia durante 44 dias, período no qual foram realizados 95 eventos de fogo controlado.

### **2.3.2 Ecologia dos Felinos**

As rodovias podem apresentar impactos drásticos em populações animais, como a redução da mobilidade de indivíduos e o aumento nas taxas de mortalidade causadas por colisões com veículos.

Há pouca informação sobre atropelamentos de fauna em rodovias brasileiras. Em [89], autores identificam os pontos críticos de atropelamento de fauna nos trechos monitorados pelo projeto RODOFAUNA, envolvendo quatro rodovias (DF-205, DF-128, DF-345 e BR-020). Neste trabalho foi utilizada a metodologia proposta por Bager e Rosa [90], um índice (Índice de Hierarquização - IH) que define os trechos críticos. A pesquisa foi realizada de carro, a uma velocidade de 50 km/h, no qual três observadores transitavam com uma frequência de duas vezes por semana identificando os animais encontrados com registro fotográfico e armazenavam a coordenada geográfica. Carcaças dos animais eram retiradas da rodovia para evitar recontagem. Esse monitoramento durou menos de dois anos.

Para evitar ou mitigar os efeitos das estradas sobre a fauna silvestre, existem diversas estratégias comumente usadas em países do Hemisfério Norte e na Austrália [91] [92] como o planejamento, a construção de túneis e elevados, a sinalização e as cercas [93].

A investigação do comportamento dos predadores é importante para entender sua localização e os padrões de atividades, de modo a reduzir o número de mortes. Cabe ressalvar, entretanto, que o monitoramento de animais, ao contrário dos incêndios florestais, é um assunto relativamente menos abordado nos trabalhos sobre RSSF.

O Sahin [94] apresenta uma ampla revisão sobre a utilização de diversos tipos de animais como indicadores para a detecção de incêndios florestais. Em [95], autores desenvolveram um protótipo de RSSF para avaliar a eficiência das passagens construídas para permitir a movimentação de animais selvagens e assim protegê-los de locais perigosos como, por exemplo, rodovias e ferrovias. De forma a planejar a implementação da RSSF foram realizadas diversas simulações e os resultados obtidos comparados a outros simuladores de rede existentes. A rede implementada no trabalho incluiu câmeras de vídeo e nós Imote2 com detectores de movimento infravermelho. O local de teste foi uma área de 2,5 hectares correspondente à entrada de uma passagem para animais situada abaixo de uma rodovia.

Em [96], autores desenvolveram o Carnivore, um sistema que utilizar um colar para monitoramento de animais. Para superar o fato de que este monitoramento tem o caráter de “operação desconectada”, os autores desenvolveram um roteamento “opportunístico” em função do cruzamento de animais entre eles e com a estação base. O sistema foi testado em laboratório, em simulações e, posteriormente, com cachorros. Aspectos da RSSF avaliados incluíram o consumo de energia e a transferência de dados.

Em [97], autores apresentam o EcoNet, um protótipo para monitoramento de vida selvagem. Dois testes de curta duração (3 dias cada) foram realizados com cachorros e vacas em uma área de 90 mil m<sup>2</sup>. Aspectos como consumo de energia e interferência na transmissão de dados foram identificados como críticos, tendo afetado os resultados obtidos nos testes realizados.

Em [98], autores exploraram o potencial de interação de RSSF com o monitoramento de satélite. O estudo de caso foi realizado para monitoramento do comportamento de gado em uma área de 21 hectares durante 3 dias com 36 animais. Temas especialmente abordados no trabalho incluíram a comunicação e a integração de dados.

### **3 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO DE REDE INTELIGENTE**

O Ambiente de Desenvolvimento de Rede de Sensores Sem Fio Inteligente (ADRIX) é um arcabouço de planejamento, de desenvolvimento e de implantação concebido para auxiliar os projetistas de RSSF. Envolve métodos e procedimentos capazes de subsidiar a atividade de projetar e implantar uma rede, ou seja, um processo de definição da arquitetura e dos módulos.

Como as RSSF são projetadas em função da aplicação, o arcabouço foi desenvolvido com uma estrutura genérica, de modo a ser capaz de atender uma ampla gama de tipos de aplicações. Adicionalmente, a fim de que o arcabouço possa reconhecer e tomar decisões para construção da RSSF, a partir de uma lista de requisitos pré-definida, foram incorporadas técnicas de IA.

O X no acrônimo ADRIX, está associado à sua funcionalidade genérica capaz de agregar opções ao arcabouço, como futuros módulos, modelos, bibliotecas e algoritmos.

Este capítulo apresenta inicialmente as etapas de uma metodologia de projeto de RSSF e segue com a descrição do arcabouço ADRIX em termos de arquitetura geral e de cada um dos módulos que o integram.

São sistematizados os aspectos mais significantes na construção de RSSF: os temas considerados mais críticos para uma rede são destacados e o potencial de aplicação de técnicas de IA é abordado. Para cada um desses aspectos, são indicados os trabalhos correlatos mais relevantes.

#### **3.1 METODOLOGIA DE PROJETO DE REDES DE SENsoRES SEM FIO**

Uma das estratégias para o desenvolvimento de sistemas complexos é utilizar uma metodologia que envolve o planejamento e o gerenciamento de projeto [99]. Se realizado de forma incorreta, provavelmente ocorrerão falhas como atrasos na entrega e na implantação do projeto, aumento de custos e falhas nos requisitos. A metodologia de

construção do ADRIX tomou como base os conceitos de gerenciamento de RSSF. O arcabouço foi dividido em cinco atividades: planejamento, deposição, *bootup*, operação modo normal, operação modo prioritário, apresentado na Figura 3.1:

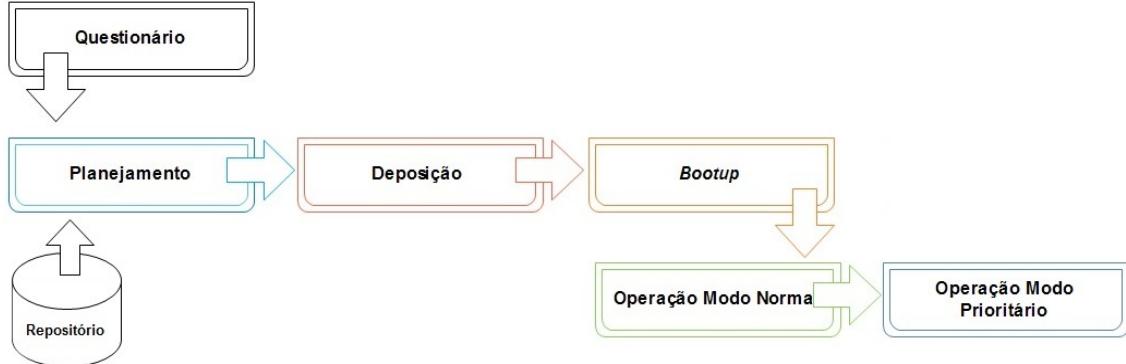


Figura 3.1: Atividade da metodologia de construção do ADRIX

- Questionário: respondido pelo usuário (cliente) que possui uma aplicação e uma necessidade (problema). Através das respostas desse questionário (Apêndice A) o projetista terá suporte para especificação comportamental e funcional da rede.
- Repositório: armazena os dados, incluindo tanto aqueles coletados como os gerados. Podem ser armazenados dados, metadados, modelos e políticas.
- Planejamento: consiste na compreensão do escopo e objetivos do projeto, além da obtenção de informações suficientes para avaliar a sua continuidade. Os principais objetivos nessa atividade são:
  - Especificação comportamental
    - \* Definição dos requisitos da aplicação
  - Definição de uma classe de aplicações
  - Definição dos requisitos funcionais (funcionalidades do sistema) e não funcionais (restrições globais do sistema relacionadas com manutenção, desempenho, portabilidade entre outros)
  - Estabelecimento de um modelo matemático que representa a aplicação
  - Definição de estratégias de distribuição de nós sensores considerando processamento e área de cobertura de sensoriamento e de comunicação
  - Escolha da(s) plataforma(s) de nós que serão depositadas tendo em conta aspectos de *hardware* e sistemas operacionais

- Definição de cenários. Essa fase pode ser realizada por simulação em diferentes ambientes: das operações e características dos nós; da rede de sensores; do modelo matemático que reflete as características da aplicação.
- Deposição: consiste na organização da rede
  - Distribuição de nós sensores (estocástica; determinística)
    - \* Localização (Uso de algoritmo)
    - \* Distância entre os nós
    - \* Topologia
- *Bootup*: consiste na execução da rede
  - Modo operacional: Verificação das condições internas
  - Operação dos nós
  - Organização da rede
    - \* Início do sensoriamento
    - \* Uso de algoritmo (roteamento, serviços de localização)
    - \* Formação da rede
- Operação Modo Normal: consiste no funcionamento da rede
  - Coleta de parâmetros
  - Operação normal, atende a todos os requisitos para que a aplicação esteja conforme o previsto
  - Economia de energia
- Operação Modo Prioritário: consiste no funcionamento da rede
  - Parâmetros coletados críticos
  - Operação
    - \* Consumo de energia
      - dados coletados diminuem ou aumentam o tempo de coleta dos dados, de acordo com a aplicação.
      - estimativa em função do tempo de vida do nó sensor
    - \* Cálculos dos riscos da aplicação



Figura 3.2: Atividades

Essas atividades seguem o modelo incremental que combina elementos do modelo em cascata aplicado de maneira iterativa [100]. Cada atividade possui fases e se repetem de acordo com o número de iterações previstas a cada atividade conforme a Figura 3.2:

Cada atividade tem um objetivo que incide nas fases, que estão representadas pela natureza, cor representada nos blocos, e pelo tempo, dimensão representada nos blocos, como apresentado na Figura 3.3. Cada fase poderá sofrer alterações em função da aplicação e da avaliação do projetista.

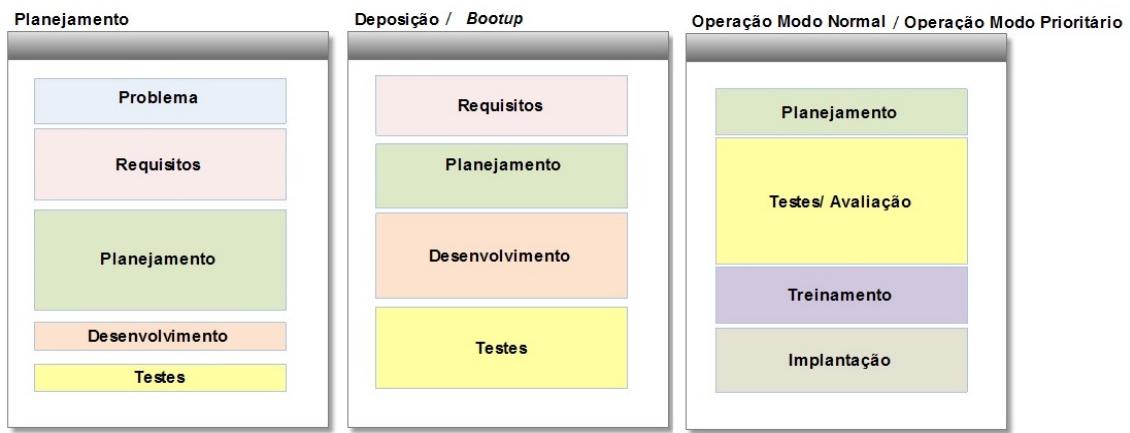


Figura 3.3: Objetivos - Atividades

A necessidade de uma metodologia se deve a modificações no desenvolvimento associadas a novas conveniências do usuário ou a deficiência na especificação inicial. A metodologia deve ser estruturada para a construção do projeto lógico antes de construir um projeto físico. O diagrama de blocos da metodologia de projeto para uma RSSF segue as seguintes etapas, conforme a Figura 3.4:

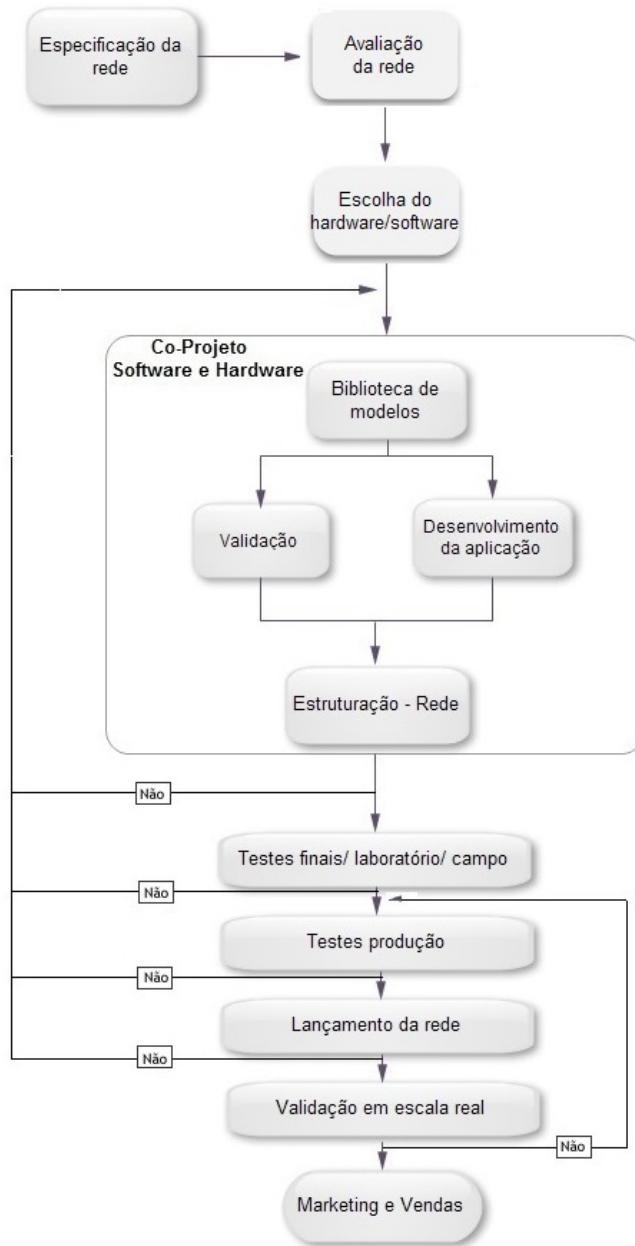


Figura 3.4: Diagrama de blocos para o projeto de RSSF

- Especificação da rede: início do projeto e definições das configurações de uma RSSF - Planejamento;
- Avaliação da rede: verificação das funcionalidades de uma RSSF;
- Escolha do *hardware/ software*: a escolha de uma plataforma comercial ou de um nó dedicado e a escolha de um sistema operacional que atenda as etapas anteriores;

- Co-Projeto *Software* e *Hardware*: utilização de linguagens de descrição de *hardware* que permitem a representação do sistema em um alto nível de abstração, desenvolvimento e testes de software embarcado utilizando a plataforma modelada para executar os programas e o desenvolvimento de *software* e de *hardware*, simultaneamente;
- Testes finais/ laboratório/ campo: testes envolvendo todas as etapas anteriores;
- Testes de produção: consiste em avaliar a capacidade e a robustez, garantindo que o produto não apresente problemas;
- Lançamento da rede: lançamento da rede com os nós sensores definidos;
- Validação em escala real: etapa de produção e garantia dos requisitos necessários de acordo com as normas de qualidade.
- *Marketing* e Vendas: o marketing prepara e desperta a curiosidade e o desejo sobre o produto através de promoções e propagandas visando a comercialização do produto através das vendas.

O uso de um diagrama de blocos apoia todo o processo de tomada de decisões dos projetistas, apresentando como vantagens os seguintes aspectos:

- qualidade do projeto: levantamento das necessidades do usuário e melhoraria do projeto;
- facilidade de manutenção: padronização da documentação e sua atualização, o que facilita a alteração do projeto a fim de corrigir defeitos ou adequação a novos requisitos;
- produtividade: projetos com documentação e etapas reutilizáveis ajudam nos testes e aumentando assim a produção e o desenvolvimento de novos projetos;
- gerenciamento: cada etapa bem definida é possível saber sobre o andamento de cada etapa do projeto, evitando surpresas durante a execução e facilitando as estimativas para futuros projetos. O gerenciamento agiliza as decisões através da disponibilização e uso de informações estruturadas.

O ADRIX foi desenvolvido a partir de uma ampla revisão da bibliografia disponível sobre RSSF e da estruturação de uma visão integrada dos componentes da rede e de como eles se interrelacionam nas etapas de desenvolvimento de um projeto.

Foram identificados apenas duas publicações que envolvem alguns dos conceitos desenvolvidos nesta tese. No primeiro, [101], são abordadas as definições e as escolhas para implantação de uma RSSF com soluções numéricas. É proposto um sistema de posicionamento estratégico (deposição determinística) de nós sensores e é estabelecido que a implantação envolve gestão local, gerenciamento de energia e roteamento. No outro trabalho, é apresentado o conceito de um *framework* chamado POWER, que consiste no desenvolvimento, na simulação e na otimização de uma RSSF ([102]). A arquitetura proposta adota modelo circular, sendo dividida em cinco partes: colocação dos nós sensores, conectividade, cobertura, coleta de dados e avaliação da rede. O trabalho informa a utilização do simulador J-Sim e a utilização de alguns modelos, como o de energia. Entretanto, não são apresentados os resultados obtidos na simulação nem os modelos utilizados.

### 3.2 ARQUITETURA DO ADRIX

O ADRIX foi concebido por meio do estabelecimento de critérios e requisitos para cada passo do desenvolvimento da rede, da análise e das especificações a serem realizadas. A arquitetura do arcabouço é apresentada na Figura 3.5.

O arcabouço ADRIX inicia com um questionário, que é a entrada de dados a ser fornecida para o arcabouço por uma especificação comportamental apresentada ao cliente. Esse questionário pode sofrer alterações, acréscimo ou retirada de questões por um especialista com o devido *feedback* do cliente. A entrada de dados contém todos os requisitos necessários para a definição da configuração da rede, tais como a escolha da topologia, do nó sensor e da configuração do nó sensor.

Uma grande vantagem do arcabouço é a utilização do conceito interface homem-máquina (IHM), uma interface gráfica amigável. A IHM compreende os comportamentos do usuário e as características e facilidades do sistema (*software*), do equipamento (*hardware*) e do ambiente (locais físicos e impactos) [103]. A importância da interface é a questão de usabilidade, pois facilita o trabalho do usuário, permitindo a visualização, o controle e a interação com o arcabouço.

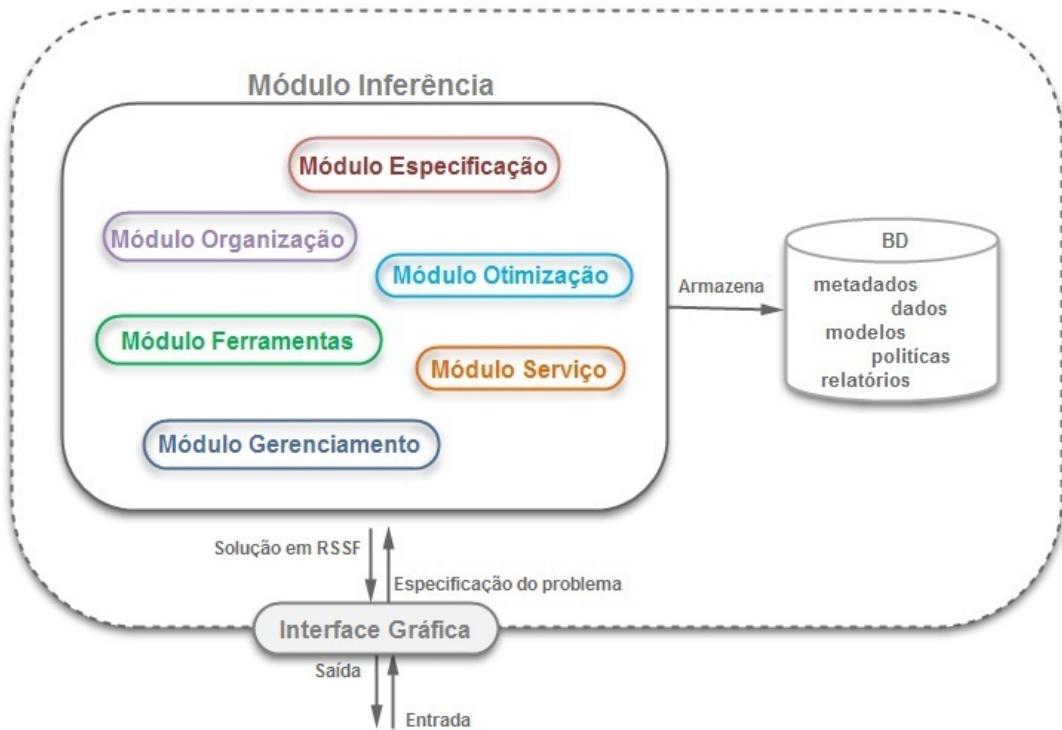


Figura 3.5: Arquitetura ADRIX

No ADRIX, há várias informações e dados, como o cadastro do usuário, das perguntas e das respostas do questionário, que precisam ser capturadas, processadas e armazenadas. Como há um volume grande de informações, os dados necessitam de proteção, ambiente seguro e de controle, o que justificou a criação de um Banco de Dados (BD). Para atender as necessidades do BD, tais como armazenamento, recuperação de grandes volumes de dados e operações básicas que envolvem inclusão, pesquisa, atualização, impressão e ordenação, foi utilizado um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD).

Como saída, o arcabouço ADRIX indica possíveis soluções para especificação de uma RSSF e requisitos para o seu bom funcionamento. Isso inclui os seguintes elementos:

- possíveis arquiteturas (configuração e topologia);
- cobertura e conectividade consideram o número de nós sensores, o alcance do transceptor, a coleta dos dados e protocolos a serem utilizados;
- especificação formal da plataforma de nó sensor, comercial ou nó dedicado (como taxa de transmissão, transceptor, frequência, memória, processador);
- comunicação (protocolo);

- tempo de vida da rede.

A saída obtida pelo ADRIX ainda pode ser utilizada em simuladores existentes para RSSF, como o NS2 ou outros citados na Seção 2.1.4, e/ou em modelagem em alto nível, que utilizam linguagens de descrição de *hardware* como SystemC, para a verificação da funcionalidade das plataformas e do projeto de *hardware* digital e analógico.

### 3.3 ARQUITETURA DO MÓDULO INFÉRENCIA

A arquitetura foi elaborada usando o conceito de modularização, conforme mostra Salvador[104], no qual módulos são unidades independentes que podem ser definidos por um agrupamento de partes físicas ou de acordo com as funções no contexto do sistema. A modularização contribui tanto para otimizar as etapas individualmente como favorece a criação de novos módulos e seu interrelacionamento.

A arquitetura interna do arcabouço, que parte da metodologia para o planejamento, é constituída por módulos e submódulos que são apresentados na Figura 3.6.

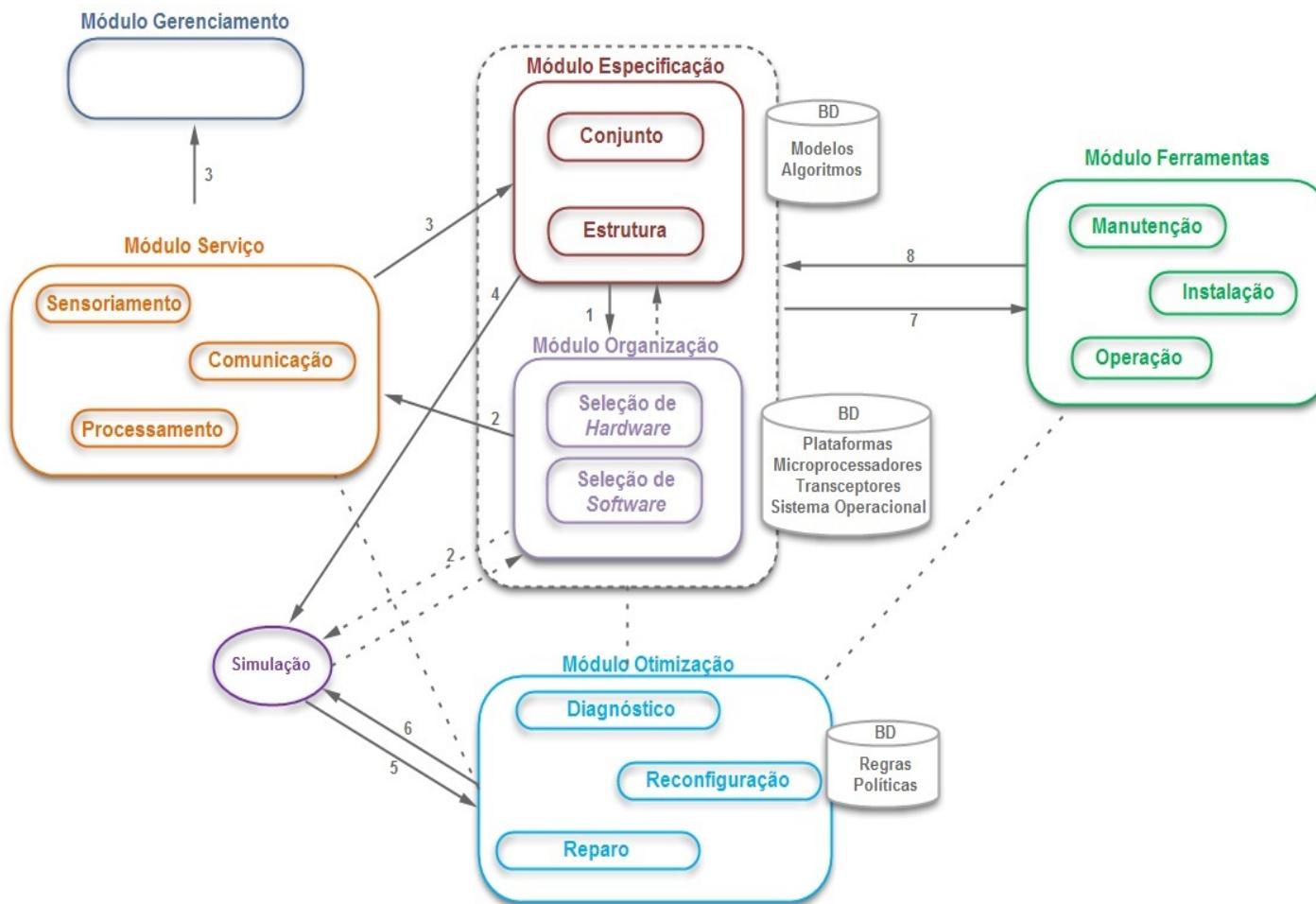


Figura 3.6: Arquitetura módulo Inférencia

## 1. Módulo Especificação

O módulo Especificação é a concepção da configuração da rede e do nó sensor, que o projetista precisa decidir antes da implantação da RSSF, tais como o número e o tempo de vida dos nós sensores para sensoriar uma determinada área e uma aplicação específica. Esse módulo é dividido em Conjunto e Estrutura.

O submódulo Conjunto é composto pelos requisitos necessários para a configuração da rede, tendo sido subdividido em três partes: requisitos do ambiente, da aplicação e da rede, conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Tabela Conjunto

Requisitos do ambiente	Requisitos da aplicação	Requisitos da rede
Área	Tempo de vida	Número de nós sensores
Deposição dos nós	Tipos de dados Coletados	Tipos de nós sensores
Tipo de ambiente		Topologia

- Requisitos do Ambiente

- Área: local que será monitorado;
- Deposição dos nós: disposição dos nós sensores na área a ser monitorada. Esses nós poderão ser lançados ou depositados em uma posição pré-definida;
- Tipo de ambiente: considera o ambiente a ser monitorado e pode ser classificado como área interna ou externa e com ou sem obstáculos.

- Requisitos da Aplicação

- Tempo de vida: tempo de vida esperado da aplicação a ser monitorada;
- Tipos de dados coletados: classificações dos dados coletados, como texto, áudio, vídeo ou imagem.

- Requisitos da Rede

- Número de nós sensores: número total de nós sensores utilizados na aplicação a ser monitorada;
- Tipos de nós sensores: tipos de nós sensores utilizados na aplicação a ser monitorada, como sensores de pressão atmosférica e/ ou temperatura.
- Topologia: estabelecimento e *layout* dos componentes de uma RSSF. Também descreve o mapa de localização dos nós sensores na área monitorada.

O submódulo Estrutura compreende os requisitos necessários para o ótimo funcionamento da rede, dividindo-se do seguinte modo: Atividade, serviços necessários para a rede ter êxito e Regras, consiste na verificação desses serviços, apresentado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Tabela Estrutura	
Atividades	Regras
Conectividade	Desempenho da rede
Cobertura	Qualidade de Serviço- QoS
Compressão de dados	Qualidade da Informação - QoI
Criptografia (segurança)	Custo
Protocolos	Tolerância a Falhas

- Atividades

- Conectividade: é a capacidade dos nós sensores estabelecerem ligações. Deve ser considerado o número (mínimo) de sensores e o alcance do transceptor. Exemplos importantes de trabalhos realizados sobre este são [105] [106];
- Cobertura: busca encontrar um conjunto de nós sensores que cubram toda a área a ser monitorada, determinando o campo de sensoriamento. Como exemplos [106] [107];
- Compressão de dados: associado ao tamanho, a economia de espaço e aumento da transmissão dos dados através da rede. Há compressão de dados com [108] e sem [109] perdas;
- Criptografia (segurança): confidencialidade, integridade e autenticidade dos dados. Há limitações de energia e um dos aspectos importantes a ser resolvidos é minimizar a utilização de recursos e maximizar a segurança, como proposto em [110] [111];
- Protocolos: viabilizam a transmissão de dados de uma rede. Há vários tipos de protocolos, como de roteamento, plano, hierárquico e geográfico.

- Regras

- Desempenho da rede: modo das condições da rede;
- Qualidade de Serviço (QoS): abrange o desempenho da infraestrutura da rede, garantindo o nível de qualidade de serviço. Um dos problemas enfrentados é a limitação de energia, pois em cada verificação do serviço há um gasto. Trabalhos que abordam esse tema são apresentados em [112] [113];

- Qualidade da Informação (QoI): qualidade da informação adquirida, que deve ser confiável, precisa, completa e gerada em tempo hábil. Como trabalhos de referência sobre este assunto, destacam-se [114] [115];
- Custo: diferencial na aquisição de uma plataforma comercial.
- Tolerância a Falhas: requisitos importantes na prevenção a falhas, pois envolve a integridade e consistência de dados. Há também falhas de elementos externos, como fenômenos atmosféricos, ou internos, como término da bateria de nós sensores. Alguns trabalhos apresentam algoritmos para minimizar essas falhas, como [116].

Nesse módulo é possível agregar alguns modelos específicos e algoritmos para refinar a escolha da configuração da rede e do nó sensor. Como exemplos, podem ser citados:

- modelo de energia: considera energia de operação, como de consumo e de transmissão, e cada elemento que compõe um nó sensor, como processador e transceptor. Exemplos relacionados a esse tema são apresentados em [117] [118] [119];
- modelo do canal: envolve a condição do canal, abrangendo o ambiente, conectividade da rede e compromisso entre largura de banda, potência e taxa de erro de bits. Trabalhos relevantes sobre este assunto são [120] [121];
- modelo de custos: considera os custos dos nós sensores.
- Algoritmos de localização: a localização é um fator importante para RSSF. Em algumas aplicações, como monitoramento do meio ambiente, as informações coletadas farão sentido associadas a uma posição geográfica. Há estimativas para detecção da localização, como medidas (uso da distância entre o transmissor e o receptor), algoritmos de descoberta de localização e serviços baseados em contexto em [122] [123].
- Algoritmos de Agentes: algoritmos utilizando o conceito de agente para o auxílio nas tarefas, como em [124].

## 2. Módulo Organização

O módulo Organização, em conjunto com o módulo Especificação, verifica qual o ambiente a ser monitorado, a área, número, tipo de nós sensores e todos os requisitos necessários para melhor escolha do *hardware/software* embarcado.

Essa escolha depende do processamento (processador, tamanho da memória), da comunicação (potência, taxa de bit, canal), do sensoriamento (taxa de amostragem,

número de bits) e dos sensores (faixa e parâmetros). Também leva em consideração os requisitos do submódulo Atividade e de energia.

Na questão de energia, cabe destacar que os nós sensores podem executar diversas operações, que envolvam envio de dados (transmissão), monitoramento do canal de comunicação (escuta do sinal) e execução de algoritmos (processamento). Como cada uma dessas atividades possui diferentes consumos de energia, há vários tipos de cálculos e equações que podem ser associados a cada uma das operações.

### 3. Módulo Otimização

Permite a otimização de uma RSSF envolvendo colaboração, cooperação e prevenção. Esse módulo tem ligações com todos os outros e é possível incorporar técnicas de IA em qualquer um dos módulos, dividido em:

- Diagnóstico: primeira etapa para solução de um problema, na análise e tomada de decisão, como apresentado em [125] [126]. É possível incorporar técnicas de IA em modelos de diagnósticos, como o uso de redes neurais em [127];
- Reconfiguração: consiste na capacidade de ajuste a mudanças, as alterações na configuração da rede, como a topologia;
- Reparo: capacidade de reestabelecer configurações na rede, tais como as rotas e/ou equipamentos.

### 4. Módulo Ferramentas

Após a concepção da rede e a execução das simulações baseadas em todos os módulos descritos anteriormente, são disponibilizados serviços de:

- Instalação: procedimentos necessários para a instalação da RSSF;
- Operação: verificação do funcionamento correto da RSSF;
- Manutenção: controle e conservação da RSSF.

### 5. Módulo Serviço

- Sensoriamento: é basicamente a percepção do ambiente e a coleta de informações. Os sensores traduzem essas percepções em informações. Através do sensoriamento é possível fazer um levantamento, mapeamento e controle de algumas aplicações. Para um sensoriamento inteligente é preciso ter um conjunto de algoritmos que confira os parâmetros requisitados;

- Comunicação: há comunicação entre os nós sensores (colaboração), nós sensores e *sink* (coleta) e *sink* e nós sensores (disseminação). A comunicação oferece diferentes modos de operação para o usuário, como alterar o protocolo de comunicação ou de criptografia, permitindo assim considerar a rede como multimodal. Grande parte da comunicação sem fio utiliza a comunicação via rádio, que depende das características da potência, da intensidade do sinal, da posição dos nós sensores, entre outras;
- Processamento: os dados coletados podem ser processados localmente ou transmitidos para outro local de processamento. Esses dados podem permitir operações de compressão de dados, agregação entre outros.

## 6. Módulo Gerenciamento

O módulo de gerenciamento utilizado foi o da arquitetura Manna, que estabelece uma separação entre as funcionalidades da aplicação e as funcionalidades do gerenciamento através da proposição de três arquiteturas: funcional, de informação e física. Esta organização tridimensional é importante na definição de serviços, funções e informação de gerenciamento assim como na proposição de soluções integradas de gerenciamento [25].

A coleta de dados é outro fator importante, porque envolve o processamento e a transmissão para outro sensor ou estação base para uma tomada de decisão. A coleta está ligada, além do sensoriamento, à comunicação, ao processamento e à Atividade/Regras. Os dados coletados podem ser processados localmente ou enviados para uma estação base, onde existem mais recursos de processamento.

## 4 IMPLEMENTAÇÃO DO AR CABOUÇO ADRIX

Este capítulo apresenta as etapas do desenvolvimento do ADRIX. A implementação do arcabouço foi realizada de forma parcial, tendo como objetivo proporcionar ao projetista uma indicação do *hardware* mais adequado para qualquer RSSF. Como especificações de *hardware* foram consideradas a plataforma de um nó sensor, comercial ou nó dedicado, e as variáveis de taxa de transmissão, transceptor, frequência, memória e processador.

O módulo especificação foi implementado considerando uma aplicação particular (ecologia de rodovias, conforme descrito na Seção 5.2). Nessa implementação foram efetivamente construídos um módulo de especificação (conjunto e estrutura), módulo organização (seleção de hardware) e correspondente banco de dados. Além disso foi implementada a primeira versão da interface gráfica de comunicação com o usuário. Na Figura 4.1, a arquitetura implementada é mostrada.

No desenvolvimento do arcabouço foi considerado um aspecto primordial na área de projetos que é a existência de documentação, que permite que se obtenham os resultados desejados, facilitando também a sua reutilização e manutenção.

Outro aspecto também considerado importante no processo foi a inclusão de características desejáveis ao arcabouço como leveza e praticidade, interatividade, completa informação, inteligência, compatibilidade e funcionalidades.

O arcabouço foi implementado na linguagem Java voltada a *Web* utilizando JSP (*Java Server Pages*). Java foi escolhido por que é uma linguagem orientada a objeto, emprega o conceito da reutilização de componentes e independe de plataforma.

A reutilização de módulos prontos e testados diminui consideravelmente o tempo e custo na composição de um *software* [128]. Além disso, a utilização de desenvolvimento para *Web* tem como vantagens a flexibilidade, a mobilidade e a manutenção.

Para armazenamento, inclusão e exclusão dos dados, foi utilizado um SGBD. A opção pelo Postgres [129] se deve à sua otimização para aplicações *Web* e pela sua carac-

terística de *software* livre (sob licença GPL - *General Public License*), o que significa que qualquer um pode estudá-lo ou alterá-lo conforme a necessidade.

O arcabouço ADRIX parte do questionário (Apêndice A), descrito na Seção 3.2, onde as perguntas e opções de respostas estão armazenadas em um BD. O acesso ao arcabouço é realizado mediante senha, fundamental no conceito de segurança. Há dois tipos de contas: do usuário e do projetista.

O usuário precisa criar uma conta, para acessar o questionário, com as seguintes informações: nome, *login*, senha, *email* e localização. Após o cadastro, o usuário responderá as perguntas solicitadas, através de uma interface elaborada para o arcabouço.

É importante destacar que cada usuário poderá produzir mais de um questionário, que são organizados por ordem de criação, contendo data e hora. Cada questionário pode ser salvo e respondido em momento oportuno. Isto facilita a utilização do arcabouço, pois caso o usuário não tenha as informações requeridas no momento de respondê-lo, poderá fazê-lo posteriormente.

O projetista tem acesso ao cadastro de todos os usuários e de seus questionários. Também é responsável pelo cadastro das perguntas e das opções de respostas do questionário que compõe o BD. Cabe destacar que os dados do BD podem ser facilmente editados e excluídos. Há tabelas adicionais no BD que são administradas pelo projetista e que serão explicadas neste capítulo.

Para apresentar a implementação, os procedimentos foram divididos em arquitetura, linguagem, banco de dados, equações e unidades.

## 4.1 ARQUITETURA

Uma visão geral da implementação do arcabouço é apresentado na Figura 4.2, composta pelas camadas: apresentação, negócio, dados e auxiliar, baseada no conceito de *Model-View-Controller* (MVC) [130]. Cada camada possui um conjunto de classes e que quando semelhantes são agrupadas formando um pacote.

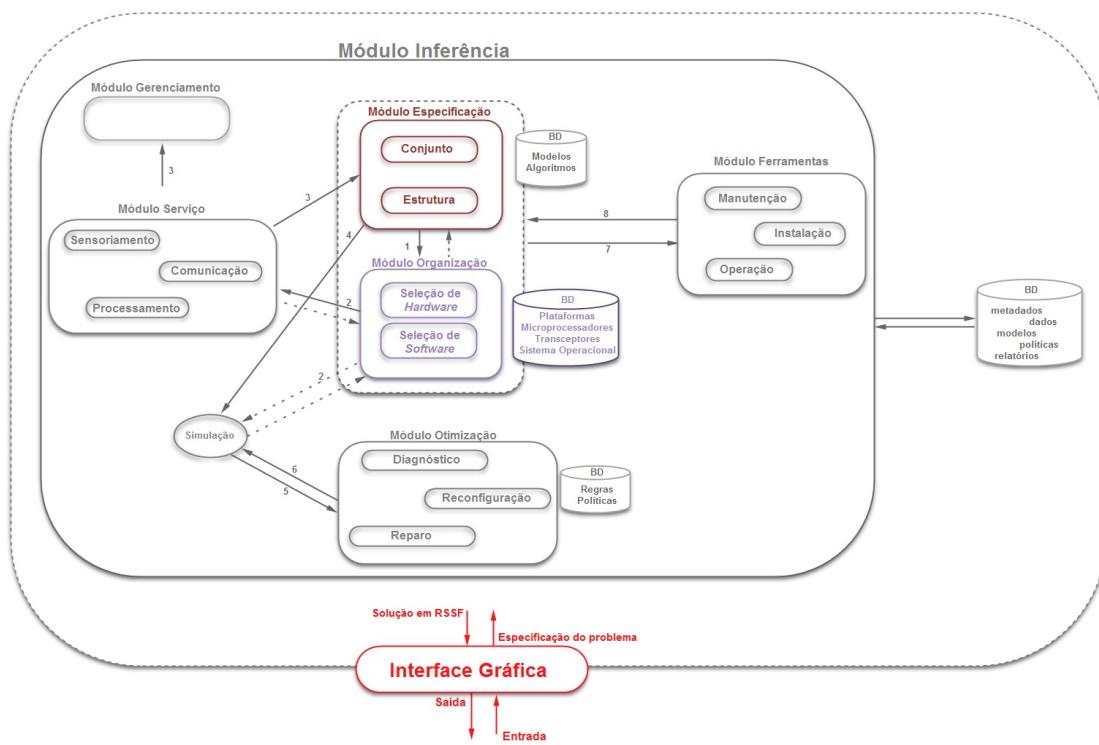


Figura 4.1: Módulos implementados

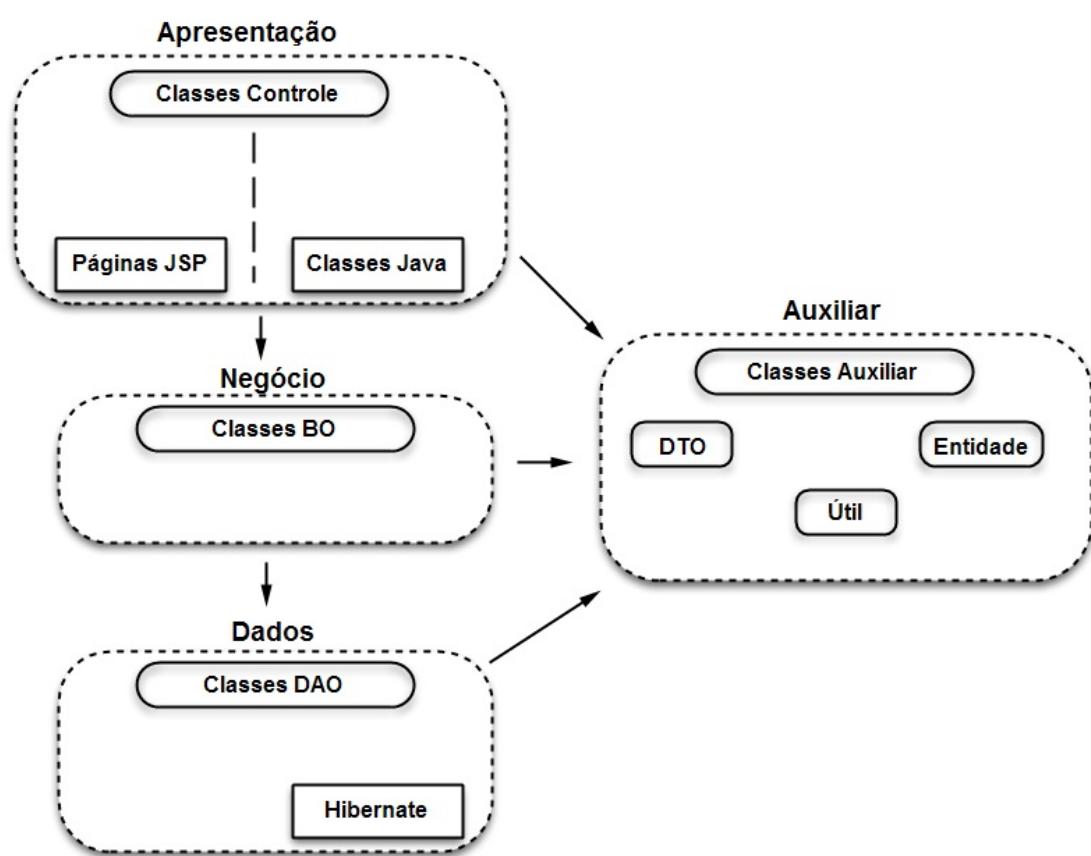


Figura 4.2: Arquiterura da implementação

- Apresentação: dividida em páginas JPS e classes JAVA. As interfaces dos usuários são representadas pelas páginas JSP enquanto o controle e o fluxo do arcabouço estão na classe Controle, Java.
- Negócio: apoia no conceito de *Business Object* que é a implementação das regras de negócio [130]. No arcabouço é representada pelas classes BO, que são classes que executam todos os cálculos, Seção 4.4, e funções.
- Dados: utiliza o conceito de *Data Access Object* [131], que é um padrão de projeto que encapsula os mecanismos de acesso a dados. Apenas as classes DAO do arcabouço possuem acesso a consultas ao banco de dados. As tabelas apresentadas na Seção 4.3 e para cada uma há uma classe DAO relacionada. Caso seja necessário inserir, excluir ou editar dados é realizado pelo Hibernate [132], que abstrai uma tabela e dados em Java.
- Auxiliar: representado por três classes: DTO, Entidade e Útil e interagem com as outras classes apresentadas. A classe DTO é um auxílio na implementação e junção de informações de diversas classes. A classe Entidade é a representação das tabelas do BD do arcabouço e é necessário indicar o caminho do BD. A classe Útil apresenta as constantes, como a identificação do usuário e do projetista.

## 4.2 LINGUAGEM

O questionário, na sua versão atual, é constituído por 20 questões e suas respectivas respostas. Em algumas questões quando ocorre o desdobramento da resposta em mais de um nível pode acontecer uma dependência entre esses diferentes níveis de respostas, apresentada na Figura 4.3, e dependência das respostas de outras questões, conforme a Figura 4.4.

Todas as respostas correspondentes ao questionário e preenchidas por um usuário para uma determinada aplicação são armazenadas em um BD. O conjunto dessas respostas será de grande importância ao projetista, pois ele inferirá, por exemplo, a configuração da rede e a escolha de *hardware* entre outros.

Para facilitar o armazenamento das respostas, inicialmente foi criado um modelo utilizando o conceito de árvore - estrutura de dados em que cada elemento tem um ou mais elementos associados - apresentada na Figura 4.5.

Questão 1 : Qual é a abrangência espacial da área a ser monitorada?

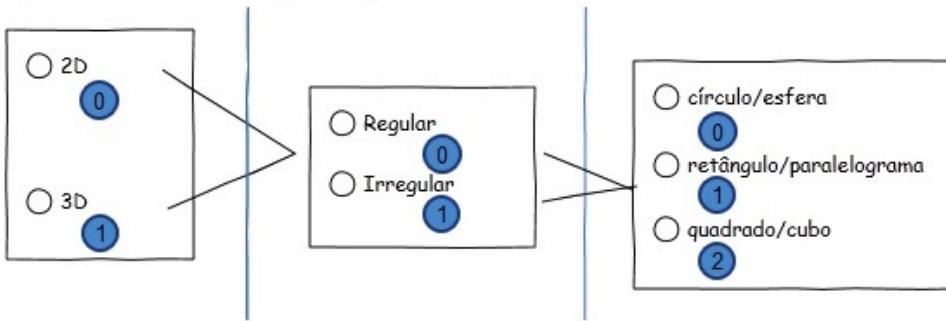


Figura 4.3: Dependência - Respostas

Questão 4 : Qual a área de cobertura de sensoriamento?

<p>Qual a área de cobertura de sensoriamento da</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <span style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">(2)</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">(9)</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">(15)</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">{ } desejável (em porcentagem)?</span> <input style="width: 50px; height: 30px; border: 1px solid black; margin-right: 10px; vertical-align: middle;" type="text"/> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px; vertical-align: middle;">%</span> </div>	<p><b>Opções da Questão 3</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #f9f9f9;"> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> Acelerômetro (0)</li> <li><input type="radio"/> Agente químicos (1)</li> <li><input checked="" type="radio"/> Áudio (2)</li> <li><input type="radio"/> Campo magnético (3)</li> <li><input type="radio"/> Extensômetro (4)</li> <li><input type="radio"/> Imagem (5)</li> <li><input type="radio"/> pH (6)</li> <li><input type="radio"/> Pluviométrica (7)</li> <li><input type="radio"/> Pressão (8)</li> <li><input checked="" type="radio"/> Pressão atmosférica (9)</li> <li><input type="radio"/> Temperatura do ambiente (10)</li> <li><input type="radio"/> Temperatura objeto (11)</li> <li><input type="radio"/> Tensão e corrente (12)</li> <li><input type="radio"/> Unidade do solo (13)</li> <li><input type="radio"/> Unidade relativa do ar (14)</li> <li><input checked="" type="radio"/> Velocidade do vento - anemômetro (15)</li> <li><input type="radio"/> Vídeo (16)</li> </ul> </div>			
<p>Local de cobertura</p> <table border="0"> <tr> <td><input checked="" type="radio"/> Borda (0)</td> <td><input type="radio"/> Meio (1)</td> <td><input type="radio"/> Todo (2)</td> </tr> </table>		<input checked="" type="radio"/> Borda (0)	<input type="radio"/> Meio (1)	<input type="radio"/> Todo (2)
<input checked="" type="radio"/> Borda (0)	<input type="radio"/> Meio (1)	<input type="radio"/> Todo (2)		

Figura 4.4: Dependência - Questão

Observa-se que os dados são redundantes nos níveis 2 e 3 de uma questão. Essa estrutura considerando um número maior de questões, conforme indica a Figura 4.6, apresenta um volume de dados e a propagação de erros, dissipando informações importantes e tornando o questionário estático. Este fato torna significativamente difícil e trabalhoso o processo de retirada ou substituição das questões que integram o arcabouço.

Para resolver esse problema e tornar o arcabouço dinâmico, capaz de inserir, acres-

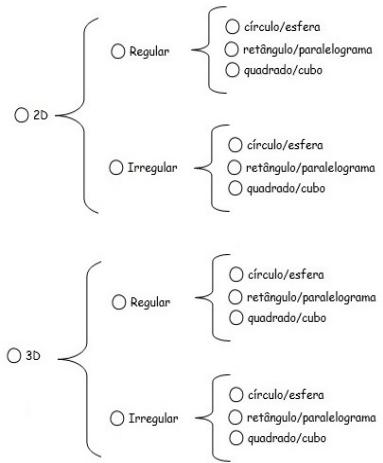


Figura 4.5: Representação de árvore de uma questão

centar, trocar a ordem das questões e recuperá-las com facilidade, segurança e sem redundâncias, foi desenvolvida uma linguagem para o ADRIX chamada QNRD.

A linguagem QNRD está relacionada com Questão, Nível, Resposta, Dependência de cada conjunto de perguntas e respostas do questionário. Estas variáveis são apresentadas na Figura 4.7 e descritas a seguir:

- Questão: um conjunto formado por uma pergunta e suas possíveis respostas apresentadas no questionário;
- Nível: cada resposta tem uma única opção ou sub-respostas relacionadas. Como exemplo, o ambiente pode ser “2D” ou “3D” e em cada uma destas alternativas há possibilidade de ser “regular” ou “irregular”. Para cada conjunto de respostas no mesmo nível hierárquico é definido o Nível da linguagem;
- Resposta: opção de resposta selecionada dentro de cada Nível;
- Dependência: informa se a questão depende de outra ou não.

Para construir uma linguagem é necessário ter um alfabeto, palavra e gramática [133].

Um alfabeto é um conjunto finito não-vazio de símbolos. O alfabeto da linguagem QNRD é representados por: E=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

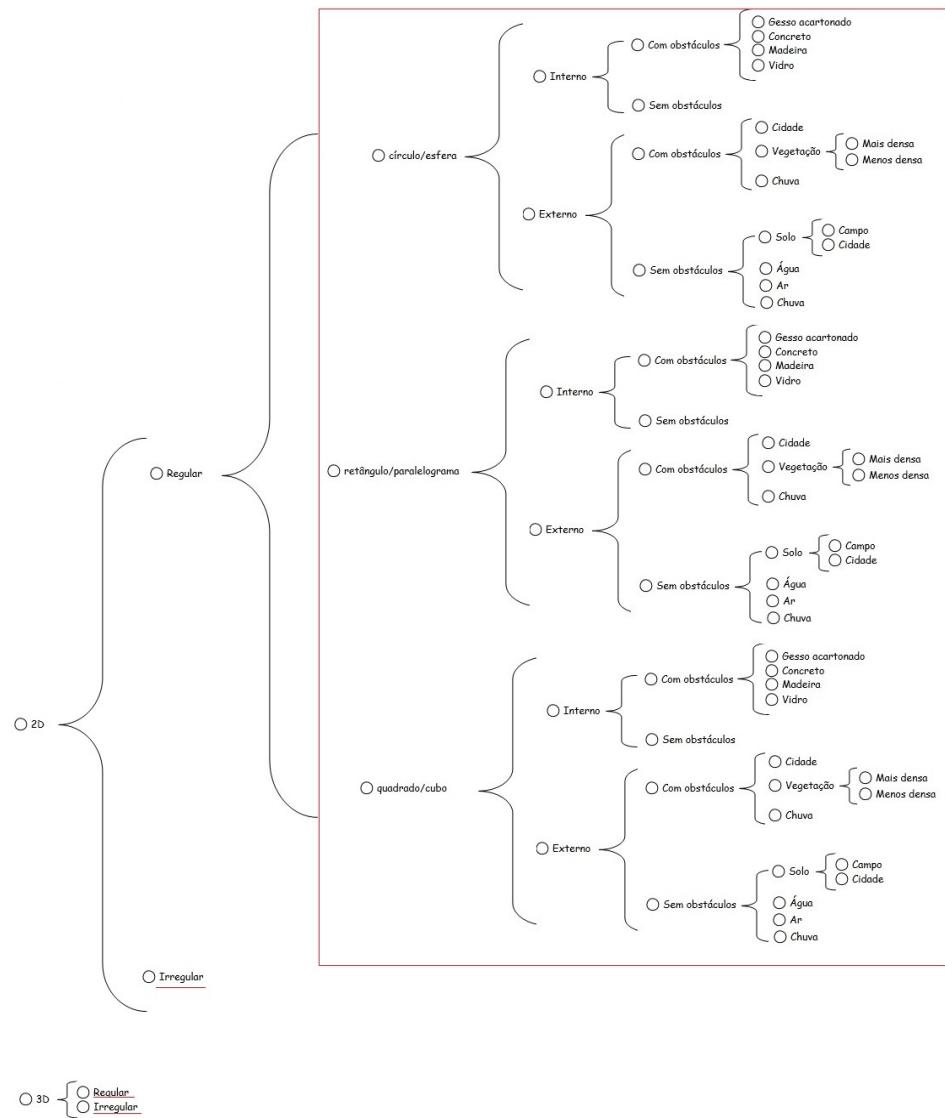


Figura 4.6: Representação de árvore

Uma palavra sobre o alfabeto E é uma sequência finita de símbolos de E. As palavras são formadas pela concatenação, operação binária, de símbolos de um alfabeto finito e não-vazio.

Uma linguagem formal é um conjunto, finito ou infinito, de palavras.

A gramática constitui sistemas formais baseados em regras de substituição, conforme apresentado na Figura 4.8. A gramática da linguagem QNRD há dois princípios: das regras (Figura 4.9), que são os caminhos a serem seguidos pelas respostas de uma determinada questão; e semântico (Figura 4.10), que é a conversão de palavras em números.

**Questão**  
1 - Qual é a abrangência espacial da área a ser monitorada?

- 2D  
 3D
- Resposta
- 0  
 1

- Regular  
 Irregular

- círculo/esfera  
 0  
 retângulo/paralelograma  
 quadrado/cubo  
2

011

012

013

Nível

Figura 4.7: Representação da linguagem QNRD

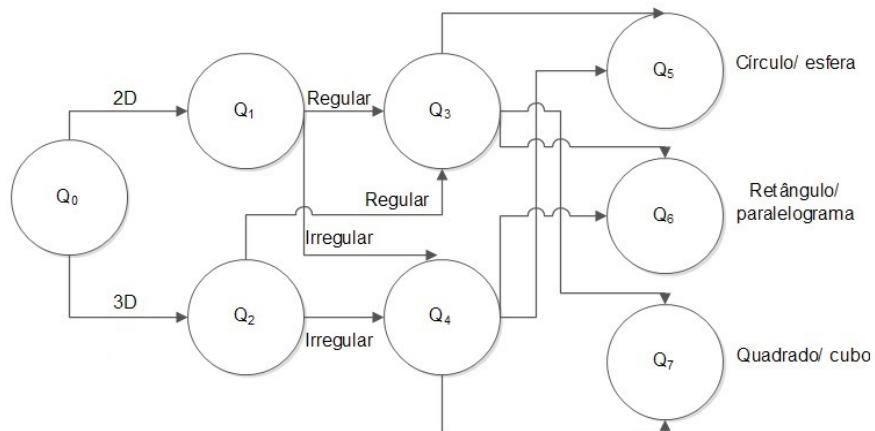


Figura 4.8: Árvore gramatical de uma questão

Comparando as informações da Figura 4.5 com a Figura 4.7, nota-se que, utilizando a linguagem QNRD, o volume dados é significativamente menor e não há redundâncias. Consequentemente há maior velocidade na busca dos dados.

Na implementação do BD utilizando a linguagem QNRD, foram cadastradas inicialmente as perguntas e, logo após, as respostas. Esta funcionalidade permite cadastrar as respostas vinculando-as à sua pergunta e à sua dependência, como é apresentado na Figura 4.11.

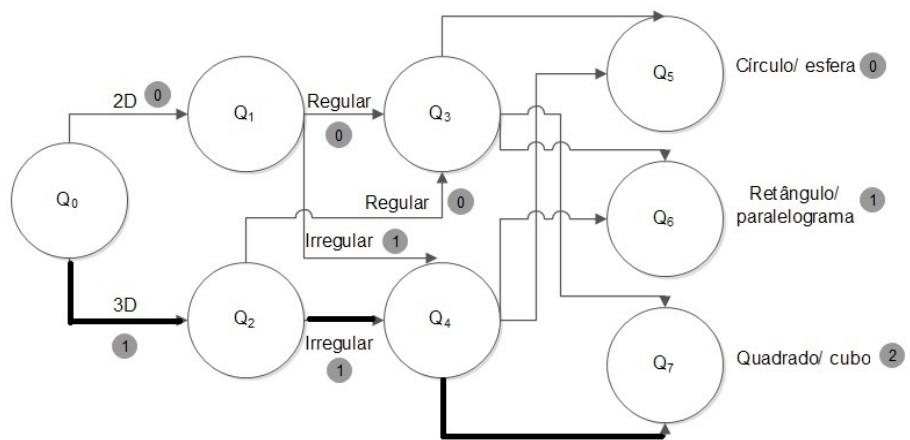


Figura 4.9: Árvore gramatical de uma questão

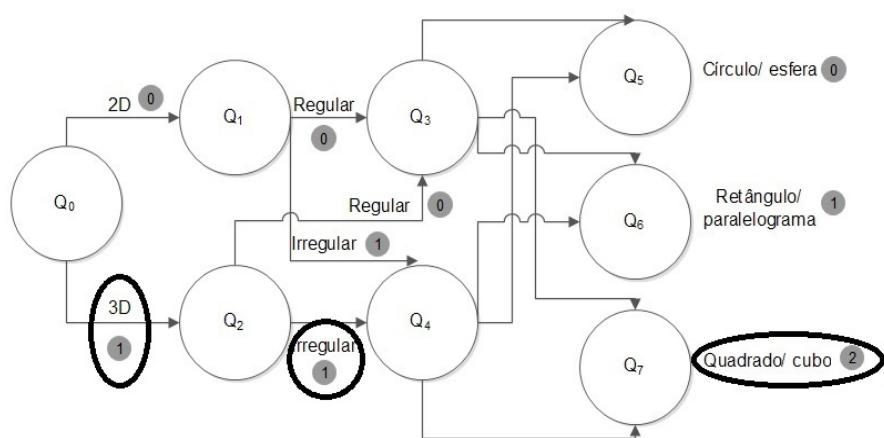


Figura 4.10: Árvore gramatical de uma questão

**Incluir Resposta**

---

Questão  
Selecionar

Nível  
Nível

Resposta  
Resposta

Descrição Resposta  
Descrição Resposta

Dependência  
Selecionar

Ativo  
Ativo

Fator de Espaço  
Fator de Espaço

Salvar

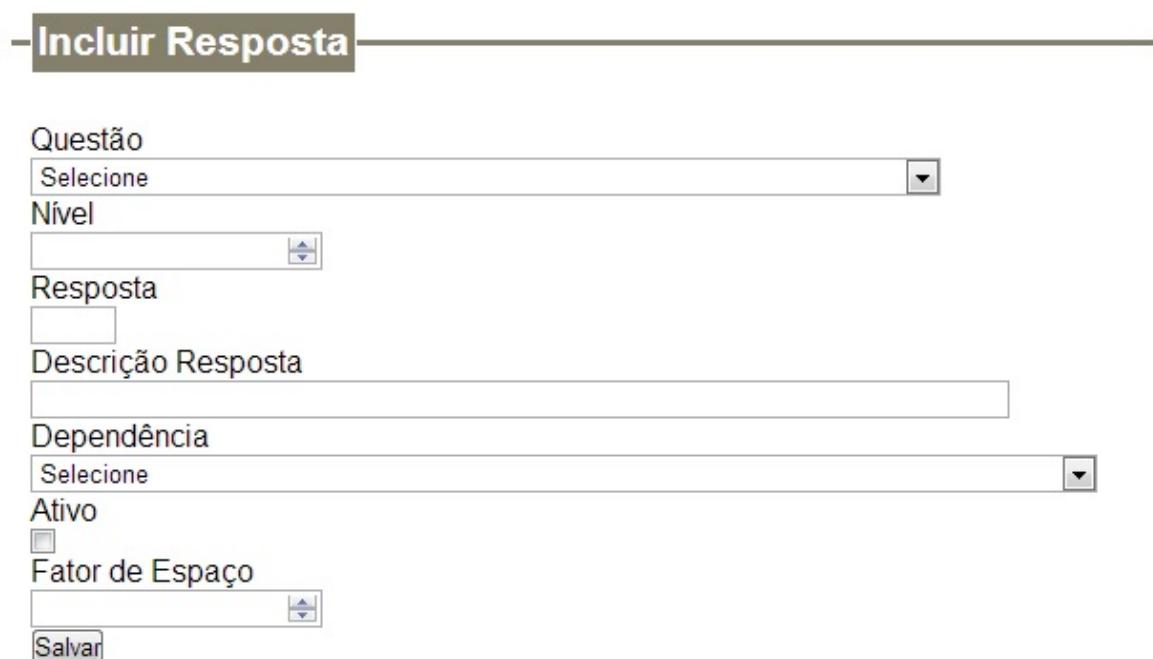


Figura 4.11: Incluir respostas

### **4.3 BANCO DE DADOS**

O BD do arcabouço é composto por 10 tabelas que estão assim denominadas: TB\_Acesso, TB\_Pessoa, TB\_QNRD, TB\_Questionario, TB\_Pergunta, TB\_Resposta, TB\_Plataforma, TB\_Microcontrolador, TB\_Transceptor e TB\_Artigos. Algumas possuem ligações entre elas, enquanto outras não, ou seja, são independentes, conforme apresentado na Figura 4.12.

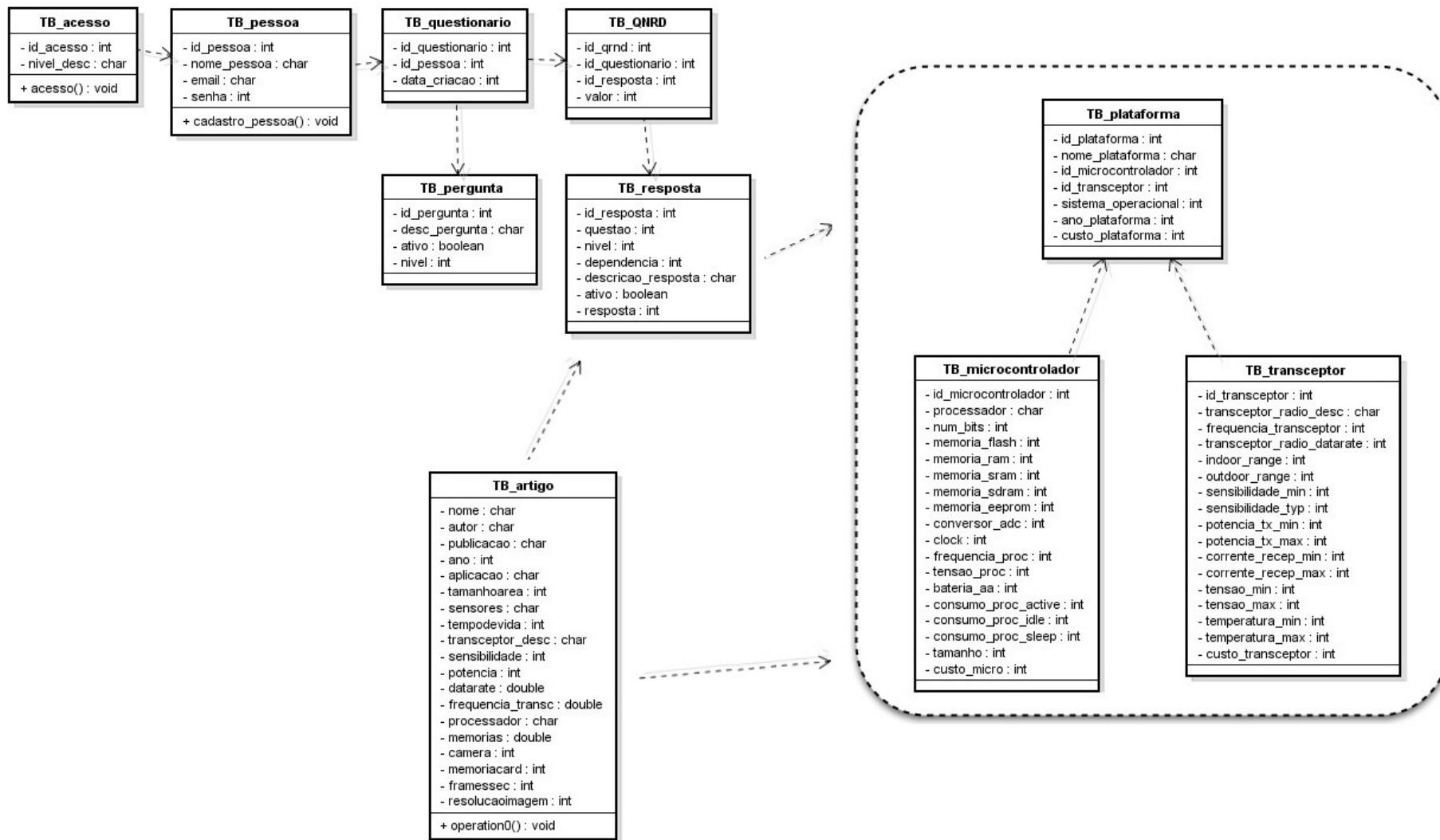


Figura 4.12: Tabelas BD ADRIX

A TB\_Acesso serve para identificar o tipo de acesso, se é usuário ou projetista. Inicialmente há apenas um projetista, que poderá dar privilégios a outros usuários.

A TB\_Pessoa corresponde ao cadastro do usuário na qual são informados o seu nome, *login*, senha, *email* e localização.

A TB\_QNRD possui ligação com TB\_Quesionario e TB\_Resposta. Esta tabela guarda o usuário e o seu questionário, respectivamente.

A TB\_Questionario contém informações dos questionários, dos usuários e da data de criação. Está relacionada com a TB\_Pessoa, a TB\_Pergunta e a TB\_QNRD.

Na TB\_Pergunta, o projetista terá o identificador (id) da pergunta, da descrição, do estado, modo ativo ou inativo, e do nível, seguindo os passos da linguagem QNRD.

A TB\_Resposta também possui o seu identificador, descrição, estado e nível, da resposta, da mesma forma que a TB\_Pergunta. Além disso, inclui a questão, a resposta e a dependência (linguagem QNRD). Cumpre registrar que esta tabela ainda possui o campo denominado fator espaço, que será explicado na próxima seção.

A TB\_Transceptor contém informações importantes de um transceptor, que são utilizadas nas esquações para produzir a saída do arcabouço. Incluiu os seguintes campos: identificação, descrição, frequência, taxa de transmissão, alcance interno, alcance externo, sensibilidade de recepção, potência de transmissão, corrente, tensão, temperatura mínima e máxima, custo e tipo de bateria. Foram cadastrados nesta tabela os dados referentes aos seguintes transceptores: Chipon CC1000 [33], Chipon CC2420 [34], RMT TR1000 [134], ATmel ATRF230 [135] (Apêndice B).

Na TB\_Microcontrolador são disponibilizadas informações referentes ao microcontrolador com os seguintes campos: identificação, descrição, número de bits, memórias Flash, RAM, SRAM, SDRAM e EEPROM, conversor AD, frequência, tensão, tamanho, custo, tipo de bateria e consumos no modo ativo, *idle* e *sleep*. Foram cadastrados: TI MSP430 [35], ARM 920T [36], Intel PXA 271 [37], Atmel Atmega 103L [136], Atmel Atmega 128L [137], TI MSP430F1611 [138], XM2110CB baseada em Atmel ATmega 1281 [139], MPR400 baseado em Atmel Atmega 128L [140] (Apêndice B).

Na TB\_Plataforma estão reunidas as plataformas comerciais mais usadas em aplicações

de RSSF: Telos [141], TelosB/TmoteSky [142], MicaZ [143], Mica2 [144], iMote2 [145], Sun Spot [146], SHIMMER [147], IRIS [148] (Apêndice B). Os campos presentes nesta tabela são: identificação, descrição, microcontrolador associado, transceptor associado, sistema operacional, custo e ano.

A TB\_Artigos é uma tabela de dados de textos completos de artigos recentes sobre RSSF aplicada à ecologia de rodovias que servem para comparar os resultados obtidos da saída do arcabouço ADRIX com aqueles adotados por outros especialistas. Possui informações como o nome do artigo, autores, local da publicação, aplicação desenvolvida, tamanho da área, sensores utilizados, tempo de vida, plataforma, transceptores, sensibilidade de recepção, potência de transmissão, taxa de transmissão, microcontrolador, memórias Flash, RAM, SRAM, SDRAM e EEPROM, presença de câmeras, modelo de câmeras, memória *card*, resolução da imagem e *frames* por segundo utilizados na aplicação. Os artigos que compõem o BD são a seguir listados [3] [26] [79] [84] [86] [96] [97] [98] [149] [150] [151] [152].

Vale destacar que todas as tabelas possuem uma interface e têm as funcionalidades de cadastrar, editar e excluir como também acrescentar novos parâmetros.

#### 4.4 EQUAÇÕES

Para a implementação do arcabouço, foi necessário estudar o relacionamento e a dependência das características de RSSF com as características e as funcionalidades de *hardware*. Esta relação foi traduzida, por meio de equações, que foram associadas às questões do questionário. Adicionalmente, foram incorporadas técnicas de IA no processo de escolha e manipulação dos dados.

É importante destacar que algumas questões não apresentam equações associadas, pois admite-se que as especificações já foram pré carregadas. O arcabouço ADRIX implementado nesta tese conta com um conjunto de dados *default*, que é formado por variáveis do ambiente a ser monitorado, da capacidade de movimentação e organização da rede. Caso se deseje alterar alguma destas variáveis, o projetista pode alterar com novas rotinas.

São descritos a seguir as equações implementadas para o funcionamento do ADRIX.

1. Alcance do transceptor

A distância entre os pontos de coleta (DPC) de um nó sensor é definida pelo usuário. Uma verificação é realizada para descobrir se na distância selecionada existe um transceptor compatível ou se haverá necessidade de diminuí-la, a fim de atender a capacidade de uma plataforma comercial.

Vários trabalhos apontam o transceptor como um dos grandes consumidores de energia de uma RSSF, como aborda [31]. Para sua escolha, foram realizados alguns cálculos iniciais, apresentados abaixo, relacionados a sensibilidade de recepção e a potência de transmissão. Para isso, os valores de sensibilidade foram fixados e, em função da DPC, são obtidos valores preliminares da potência de transmissão. O arcabouço realiza a comparação entre esses valores preliminares e os valores da potência de transmissão fornecidos pelos *datasheets* dos transceptores. Os valores temporários inferiores àqueles fornecidos pelos *datasheets* são selecionados para apoiar escolha final da plataforma.

Neste cálculo também é considerado o tipo de ambiente, que influenciará o modelo de propagação. Uma das dificuldades encontradas foi identificar o modelo de propagação.

A maioria dos trabalhos considera o modelo de espaço livre, no qual a potência de transmissão cai com o inverso do quadrado da distância. Para melhor ajuste do arcabouço em função do modelo, foi criado o fator espaço (F), presente na TB\_Respota. O projetista, ao cadastrar os tipos de ambientes, precisa informar a potência correspondente a cada ambiente. Esse ajuste é executado com o apoio de um SE através de regras. O arcabouço por *default* considera o modelo de espaço livre.

As equações utilizadas nos cálculos de sensibilidade de recepção e potência de transmissão em função do tipo de ambiente.

A sensibilidade de recepção, fornecida pelos *datasheets* dos transceptores, é medida em dBm (*decibel miliwatt*). Essa medida representa o ganho ou atenuação de um sinal em relação à potência de 1 mW. Por isso, é necessário transformar a sensibilidade de recepção em dBm para mW, utilizando a Equação 4.1:

$$S[dBm] = 10 \log(S[mW]) \quad (4.1)$$

onde, S[dBm] é a sensibilidade de recepção e a (S[mW]) é a potência na entrada do receptor.

Para o cálculo da ( $S[mW]$ ), é necessário o DPC e a sensibilidade do receptor, conforme indicado na Equação 4.2:

$$SdBm = \frac{(S[mW])}{DPC^F} \quad (4.2)$$

O expoente do DPC é o fator espaço. A potência do transmissor mínima é convertido para dBm

## 2. Determinação do número de nós

O arcabouço considera ainda informações sobre a área e abrangência para estabelecer o número de nós sensores. O cálculo de área é realizado pelo arcabouço em três situações:

- No caso de uma área retangular, a Equação 4.3:

$$Ar = (b)(h) \quad (4.3)$$

onde b é o valor a largura e h a altura.

Com os valores da largura e da altura divididas pelo DPC é formada a matriz que representa a área e a soma representa o número inicial de nós sensores (N), conforme apresentado na Equação 4.3:

$$N = \frac{b}{DPC} + \frac{h}{DPC} \quad (4.4)$$

- No caso do cálculo da área do círculo, Equação 4.5:

$$Ac = (\Pi)(r^2) \quad (4.5)$$

onde r corresponde ao raio.

Para estabelecer a quantidade de nós sensores inicial, é necessária a área do nó sensor( $Ans$ ). Neste caso, foi considerado que o DPC é o diâmetro do nó sensor, que resulta na Equação 4.6:

$$Ans = (\Pi)\left(\frac{DPC}{2}\right)^2 \quad (4.6)$$

Assim a quantidade de nós é estabelecida pela Equação 4.7:

$$N = \left(\frac{Ac}{Ans}\right) \quad (4.7)$$

- No caso de uma área quadrado, será igual ao do retângulo, considerando a largura e a altura iguais.

### 3. Taxa de transmissão do nó

Outro cálculo relacionado ao transceptor envolve o tamanho dos dados e a frequência de coleta. As duas variáveis, determinadas pelo usuário, multiplicadas definem a taxa de transmissão de dados.

As unidades de tempo são estabelecidas pelo arcabouço em segundos. O valor encontrado precisa ser menor ou igual que as taxas de transmissão disponíveis nos *datasheets* dos transceptores. Caso não seja encontrado, será necessária a interação entre o usuário e o projetista para ajustar o número de coletas.

Os tipos de dados são importantes para algumas definições, como da memória e da taxa de transmissão. Foram divididos, dentro do arcabouço, em texto, áudio, vídeo e imagem. Os dois primeiros necessitam da informação do tamanho do dado, fornecido pelo usuário, enquanto os outros já são pré-estabelecidos, conforme a Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Parâmetros dos tipos de dados

Tipos de dados		Tamanho do arquivo*	
Vídeo		padrão: 512x492x8	
Imagen	monocromática		320x240x1
Imagen	colorida	baixa definição	VGA padrão: 640x480x8
Imagen	colorida	alta definição	Full HD: 1920x1080x32

\* Os dois primeiros números correspondem ao número de pixels e o último à profundidade de cor.

Os valores *default* podem ser ajustados pelo projetista a partir de uma solicitação do usuário. Neste caso será necessário, contudo, acrescentar regras de produção, utilizando SE, para cada valor de vídeo ou imagem, como, por exemplo, a profundidade de cor relacionada aos pixels.

O usuário estabelece também o número de coletas por unidade de tempo, hora, minuto ou segundo. O arcabouço deduz o tamanho mínimo necessário da quantidade de memória do microcontrolador, caso seja necessário armazenar o dado.

### 4. Dimensionamento da memória do nó

Há vários tipos de memórias presentes nas plataformas comerciais. Nem todas possuem todos os tipos de memórias. Por isso, foi estabelecida uma hierarquia,

facilmente alterada se necessário, para que o arcabouço percorra e encontre a memória desejada. A ordem determinada das memórias foi a seguinte Flash, RAM, SRAM, SDRAM e EEPROM.

## 5. Estimação do consumo do nó

Tanto para o microcontrolador, quanto para o transceptor, apresenta-se como fator importante o consumo de energia de cada um. O arcabouço faz uma estimativa da autonomia em função da carga disponível especificada de ambos.

O arcabouço tem em seu BD o tipo de pilha utilizada, AA onde a carga é de 2800mAh (*miliampère-hora*), ou AAA cuja carga é 1000mAh. Nos *datasheets* do microcontrolador estão disponíveis os valores das correntes em modo ativo (I<sub>a</sub>) e sleep (I<sub>s</sub>) e do transceptor no modo de recepção (I<sub>mr</sub>) e transmissão (I<sub>tx</sub>). Para a estimativa da autonomia foi utilizada a Equação 4.8:

$$Autonomia = \frac{carga}{corrente} \quad (4.8)$$

Nesta tese, todas as equações foram implementadas em uma classe, utilizando a abordagem de SMA voltada a ações e interações entre si, de modo a gerar o resultado esperado. A abordagem voltada à racionalidade dos agentes foi implementada em uma das unidades apresentada a seguir.

## 4.5 UNIDADES

### 4.5.1 Unidade de Simulação

A integração da abordagem de SMA apresenta-se como promissora para otimização de desempenho de RSSF, já que os agentes são capazes de ação independente e autônoma, realizando com sucesso as tarefas que lhes são delegadas. Arquiteturas distribuídas ajudam a distribuir os recursos, a reduzir as tarefas centralizadas e melhoram as respostas em tempo de execução. Foi implementado um simulador de evento de combustão em florestas empregando SMA para otimização de desempenho de RSSF. A escolha do SMA se deu em função da sua capacidade de flexibilidade, facilidade de configuração, de implementação de novos recursos ou alteração do comportamento de recursos já existentes, extensibilidade, escalabilidade e autonomia. Para a implementação, utilizou-se o middleware *Java Agente DEvelopment Framework* (JADE) [66] [153]. O JADE, desenvolvido em linguagem Java, fornece serviços de comunicação, interação dos agentes

e algumas ferramentas de mobilidade entre plataformas. O banco de dados foi o Oracle 10g [154].

Como metodologia de SMA utilizada nesta unidade, foi definido primeiramente o PAGE, Seção 2.2.3.2, para a aplicação de monitoramento de incêndios florestais, que corresponde à definição das percepções (*Percepts*), ações (*Actions*), objetivos (*Goals*) e ambientes (*Environment*) dos agentes envolvidos no SMA conforme apresentado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Descrição do PAGE

Agentes		Page		
	Percepções	Ações	Objetivos	Ambiente
Sensor	Posição aleatória	Captura de dados		Acessível
	Sensores de temperatura	Retorno de informação (agir)	Segurança (comunicação)	Determinístico
	Sensores de umidade	Processamento de dados		Episódico
	Sensores de pressão atmosférica	Roteamento		Discreto
Sink			Recebimento de dados	
			Processamento de dados	
	Agregação de dados dos nós sensores	Armazenamento de dados	Custo de energia	
	Tomada de decisão	Transmissão à Estação Base	Comunicação	
Estação Base			Recebimento de “resposta” da estação base	
			Recebimento dados do sink	
	Causas (“saúde dos nós”)	Processamento da “resposta” e atuação		
	Diagnóstico	- Inteligência Artificial Envio da “resposta” para o sink	Segurança (comunicação)	

O PAGE foi desenvolvido, baseado em respostas do questionário do arcabouço (Apêndice A), e considerado o ambiente conforme a seguinte classificação: acessível; determinístico; episódico; estático e discreto.

No projeto de SMA foram definidos três agentes: sensor, *sink* e estação base, conforme a Tabela 4.2. Cada sensor foi classificado de acordo com os tipos e funções de agentes, que mapeiam percepções em ações: agente reativo, agente por objetivo e agente por utilidade [46]. Assim, cada agente do SMA é definido a seguir:

- Agente sensor: um agente reativo cujo modelo de funcionamento é de estímulo-resposta, que captura e processa os dados do ambiente;
- Agente sink: agente por objetivo. Ele recebe, processa, armazena, transmite dados do ambiente conforme os objetivos que descrevam os diferentes cenários e respectivas situações desejáveis. Todas essas ações do agente sink são enviadas tanto para o agente sensor quanto para o agente estação base;
- Agente estação base: um agente por utilidade, o qual mapeia estados (ou uma sequência de estados). Recebem os dados do agente sink, processa e retorna os dados.

Como os agentes são diferentes e cada um pode propor cursos de ação divergente, é necessária uma organização. Para superar esta questão é proposta uma abordagem hierárquica, apresentada na Figura 4.13, onde,

- S: são conjuntos de nós sensores;
- K: representação de um *sink*. Uma rede de sensores pode possuir um ou mais *sink*;
- R1; R2; Rn: representa uma rede de sensores constituída de nós sensores e *sink*. Os nós sensores capturam os dados do ambiente e os enviam para o nó *sink* que disponibiliza os dados à estação base;
- Estação base: concentra o processamento e tomada de decisão pelos agentes inteligentes;

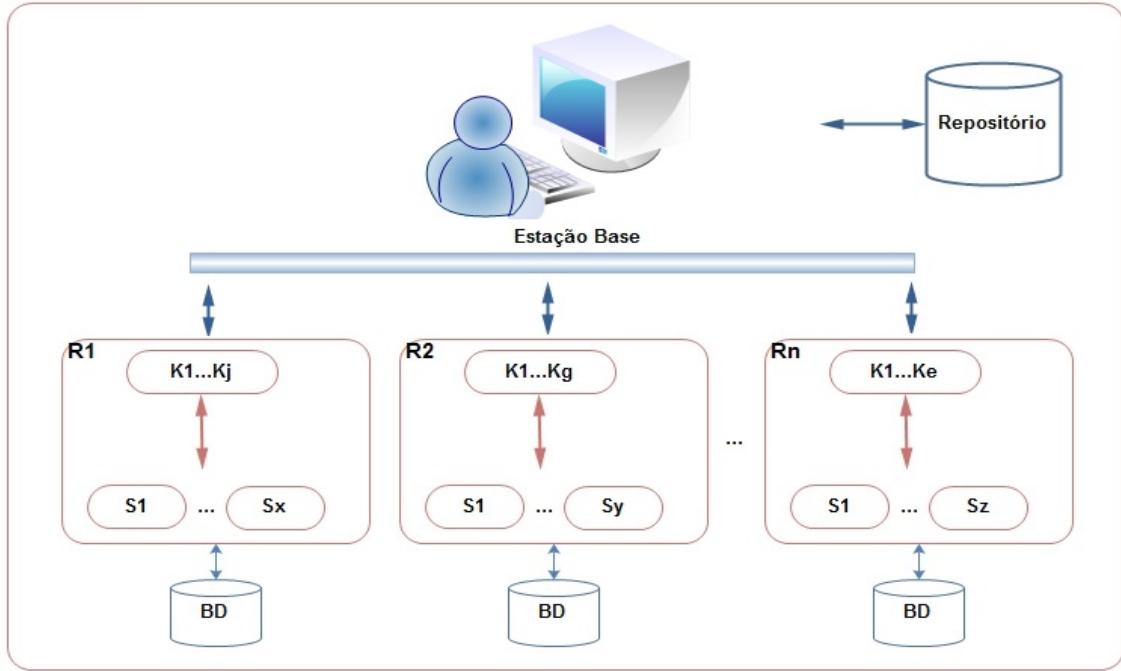


Figura 4.13: Arquitetura comportamental da rede.

- **Repositório:** possui todas as regras de negócio para a transformação dos dados gravados no BD em informações, que serão disponibilizadas na forma de serviços para a estação base;
- **BD:** armazena os possíveis dados.

O PAGE serviu como subsídio para a construção de um protótipo que simula a ação de cada um dos três agentes: sensor, *sink* e estação base. Para inicializar cada um desses agentes seria necessária a passagem de parâmetros no JADE ou executar um comando com a listagem de todos os agentes que seriam inicializados individualmente. Para ajudar esse processo, foi criado um novo agente, denominado Boss, que ajuda na instanciação do número total de agentes, permitindo que a simulação comece com mais de um agente sensor ( $N$  agentes sensores). Após a criação de todos os agentes, o agente Boss é extinto.

A simulação envolve a ação de cada um dos três tipos de agentes, bem como o ambiente que os agentes estão inseridos, conforme o diagrama de bloco representado na figura 4.14.

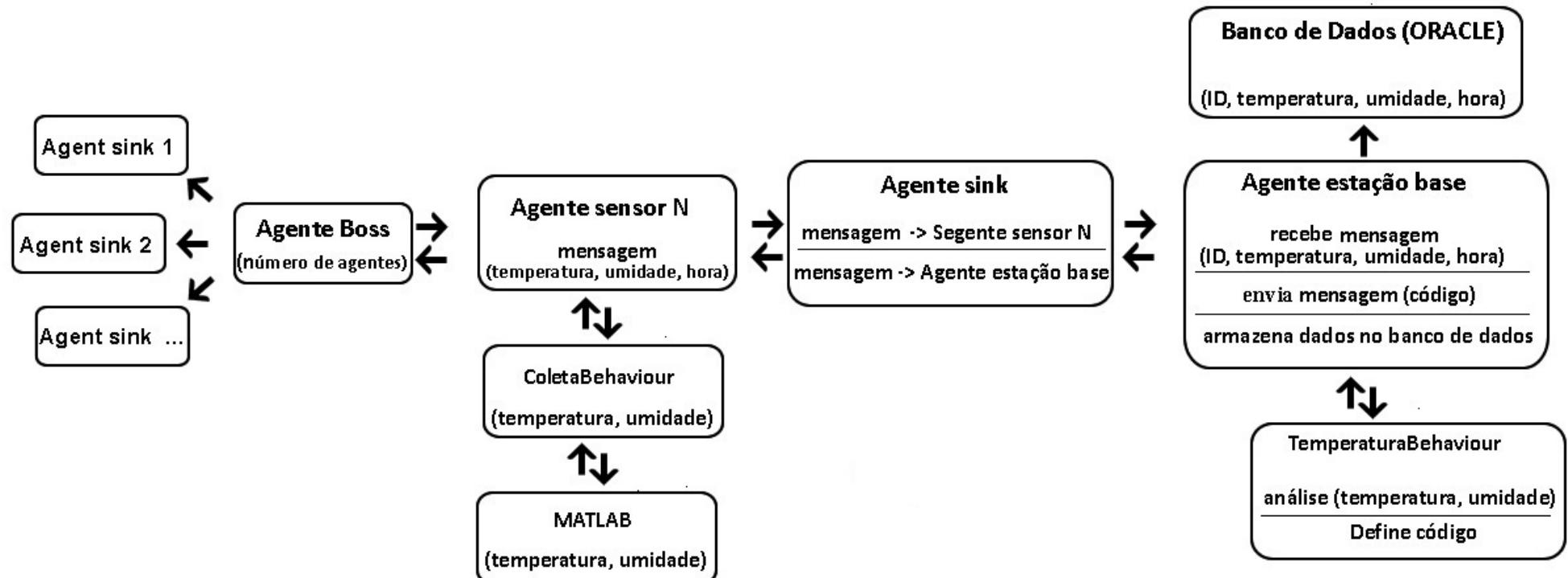


Figura 4.14: Diagrama de bloco da simulação

O simulador instancia três agentes e os dados do ambiente a serem coletados são temperatura e umidade. Os agentes sensores necessitam estabelecer uma conexão com o *hardware*, responsável pela obtenção dos dados do ambiente. Tal *hardware* é simulado utilizando duas funções criadas no MATLAB [155], GeradorTemperatura, que gera a temperatura, e GeradorUmidade, que gera a umidade.

Como em um nó sensor real, o agente sensor estabelece uma comunicação com o MATLAB, através do comportamento ColetaBehaviour, e recupera os dados. O comportamento ColetaBehaviour realiza a coleta de temperatura e umidade uma vez por minuto, ou seja, quando a temperatura é considerada normal, mantém o agente bloqueado em modo econômico de energia entre as coletas.

A integração do *middleware* JADE com o MATLAB, deve-se à API (*Application Programming Interface*) chamada *matlabcontrol*.

Os dados de temperatura e umidade são obtidos a partir de um gerador de números aleatórios, que foi implementado em JADE, e são diferentes para cada agente do nó sensor. Temperaturas com classificação diferentes da normal causam períodos diferentes de coleta. Em seguida, cada agente sensor transmite os dados obtidos através de uma mensagem para o agente sink, juntamente com sua identificação para a coordenação da comunicação dos sensores e com o horário em que os dados foram coletados, para devido armazenamento e tratamento dos dados.

O agente sink é responsável apenas pela operação de dados entre os agentes sensores e agente de estação base. Todos os dados da transação acontecem por meio de mensagens e todas as mensagens trocadas são objetos serializados, que conferem um nível de proteção dos dados transmitidos.

O agente estação base corresponde fisicamente ao terminal do operador do sistema. Dotada de um maior poder de processamento, esse agente é responsável pela avaliação da temperatura final. Assim, o agente recebe a temperatura enviada pelo agente sink, através de troca de mensagens, e, em seguida, a repassa para o comportamento a ela associado, de nome TemperaturaBehaviour.

A identificação de um limiar de fogo é feita por meio da comparação entre o valor de temperatura recebido e de valores de limiar para a combustão florestal, obtidos a partir da literatura [156] que estão armazenados numa base de dados.

O resultado é transferido através do agente sink ao agente sensor. De acordo com o seu valor, as velocidades de aquisição e de transmissão são ajustadas de modo a otimizar a observação do evento de combustão da floresta durante o tempo de vida do nó sensor.

Além das características citadas, todos os agentes criados têm uma rotina de testes iniciais para avaliação de funcionamento e parâmetros.

Como tarefa final, o agente estação base envia todos os dados para o BD. Através do BD, o projetista poderá realizar a adequada análise de todos os dados coletados, informações de temperatura, umidade, horário associadas ao agente que as pertencem, apresentado na Figura 4.15.

EDITAR	AGENT_ID	TEMPERATURE	HUMIDITY	TIME
	2	383	65	10:45:10
	2	317	64	10:46:9
	1	326	42	10:45:7
	3	262	44	10:46:11
	1	262	40	10:46:9
	2	363	56	10:45:7
	2	63	65	10:45:51
	3	340	64	10:46:9
	3	50	63	10:45:7
	2	383	52	10:45:52
	1	320	43	10:46:7
	2	272	59	10:46:10
	2	111	54	10:45:9

Figura 4.15: Banco de dados

A representação arquitetônica do protótipo é apresentada na Figura 4.16 e compreende os seguintes níveis:

- Estratégico, que são representados pelos sensores e coordenam e executam as tarefas;
- Controle ou Tático, que coordena as tarefas recebidas dos gerentes operacionais e decide sobre a distribuição dos recursos na rede;
- Operacional, que tem como encargo a resolução de conflitos entre agentes;
- Físico, constituído de arquivos locais e de conhecimento, utilizado pelo gerente operacional.

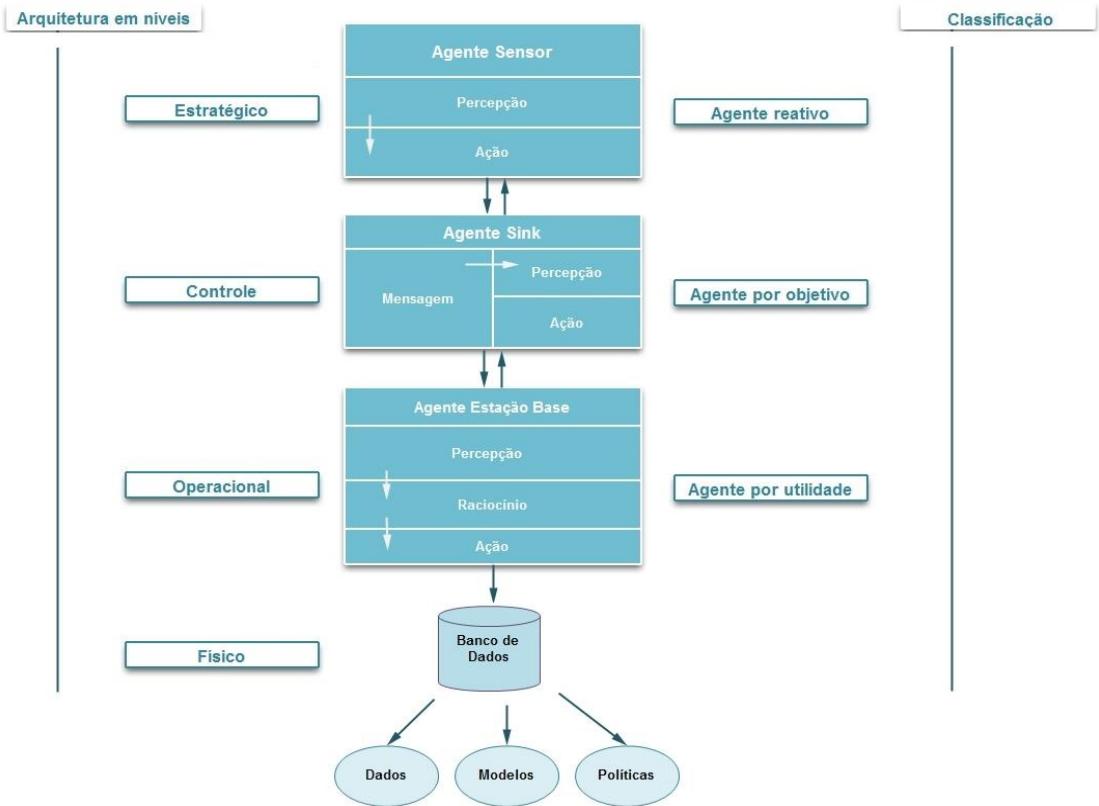


Figura 4.16: Arquitetura de rede em JADE

Cumpre ressaltar que a SMA permite a criação de quantos agentes forem necessários para validar uma aplicação escolhida.

Essa arquitetura foi implementada para mais de uma rede de sensores, que pode ser tanto cooperativa quanto coletiva.

Essa unidade não foi acoplada ao arcabouço por falta de tempo hábil. Mas por estarem na mesma linguagem de programação facilita a integração. No módulo inferência do arcabouço existe uma unidade de simulação, que se encaixa neste conceito. As informações do arcabouço podem ter como saída dados coletados do BD e no formato de arquivos XML. Este arquivo é o modelo de entrada do simulador, que usará o ADF - *XML based Agent Definition File*, que gera o modelo do agente e o executa de acordo com objetivo.

#### 4.5.2 Unidade de Protocolo de Roteamento

Existem diversos protocolos de roteamento na literatura. Eles são basicamente divididos em protocolos de roteamento plano e de roteamento hierárquico [157]. No

primeiro, todos os nós possuem a mesma tarefa. No segundo, existem diferentes níveis de hierarquia entre os nós.

Dois nós distintos são estabelecidos no protocolo hierárquico: nós sensores e *cluster heads* (CH). Um processo chamado de clusterização forma grupos de diferentes nós. Dentro de cada grupo, há um nó responsável pela comunicação, denominado CH, que recebe dados de todos os outros nós do *cluster* e os envia para a estação base, que é responsável pela gestão de todos os dados do sistema. Estes dados sofrem uma redução ou a agregação no CH, a fim de reduzir o número de mensagens enviadas à estação de base.

Os nós sensores têm duas características importantes relacionadas com o processo de clusterização: raio de comunicação e de sensoriamento. A primeira refere-se à distância máxima em que dois nós sensores podem trocar dados. A segunda está relacionada com a distância máxima em que um evento pode ser sensoriado.

Como unidade de protocolo de roteamento do ADRIX, foi desenvolvido um protocolo hierárquico, o HACBA (*Hardware-Adaptative Clustering Based Algorithm*) [158], que se baseia no protocolo LEACH (*Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy*) [159].

O seu principal objetivo é aperfeiçoar o processo de passagem de informação em uma RSSF. Para isso, o foco foi encontrar um código ótimo que minimizasse a quantidade de energia consumida pelos nós sensores e envio de mensagens entre nós sensores e estação base com a melhor qualidade. Seu grande diferencial é levar em conta as características do *hardware* utilizado. Ele se adapta as características específicas do nó para fazer o roteamento.

O HACBA tem como base diferentes protocolos de roteamento existentes na literatura. O conceito de *sleeping mode*, apresentado em [160], foi desenvolvido para o tratamento de redundância [161], ou seja, nós que possuem dados iguais ou muito semelhantes. No *sleeping mode*, alguns nós permanecem desligados, quando estão muito próximos a algum que esteja ativo, a fim de economizar energia e também, eventualmente, evitar dados redundantes.

Outra estratégia para a otimização do consumo de energia é a análise de dados, pelo CH antes de enviá-los à estação de base, como em *QoS-based* [162]. Por exemplo, neste caso, se um determinado parâmetro está abaixo do nível de alerta, a informação não

será enviada para a estação de base. A CH é responsável pelo processamento e envia a mensagem com o parâmetro mais baixo e o IP do nó sensor.

Inicialmente, assume-se que todos os nós sensores conhecem as suas posições. Isto é devido a sistemas embarcados, tais como GPS ou outros sistemas de localização [163] [164] [165] [166]. Os nós sensores também são capazes de determinar as suas distâncias aos outros nós e à estação de base através da utilização de algoritmos como AMEER (*Minimum Adaptive Energia Relé Routing*) [162].

O protocolo HACBA simula a distância entre os nós e o valor do raio de comunicação, fornecendo critérios para a seleção do nó sensor (plataforma comercial ou nó dedicado).

No protocolo HACBA, o modelo simples de dissipaçāo de energia e o modelo de recepçāo de dados são utilizadas como proposto por [159]. Os modelos de canal de espaço livre e *multipath* são utilizados de acordo com a distância entre o transmissor e o receptor [159].

Cada nó sensor é parte de um espaço vetorial. Dados diferentes, como a posição do nó sensor nos eixos x e y, temperatura, umidade, energia, tipo de nó (avançada ou normal ou *cluster head*) são armazenados em uma estrutura de protocolos.

A escolha do CH é feita com a restrição de que outro CH não exista dentro da área limitada pelo raio comunicação.

Depois de estabelecer a lógica de roteamento, os protocolos de transmissão de dados são definidos. Protocolos existentes na literatura foram utilizados.

Uma vez definido o CH, os *clusters* precisam ser criados. O CH envia uma mensagem de aviso (ADV - *advice*) usando um protocolo *Media Access Control*(MAC) *non-persistent Carrier Sense Multiple Access* (CSMA) [167]. Desta forma o canal é testado para verificar se está livre para enviar dados. Se ocupado a estação espera um tempo aleatório crescente antes de testar se o canal está livre novamente. Se livre, os dados são enviados. O ADV contém o IP do CH e um cabeçalho indicando que essa é uma mensagem de aviso.

Os nós sensores que recebem a mensagem estão localizados dentro do raio de comunicação do CH. Assim, eles podem identificar a qual *cluster* pertence.

Em retorno, os nós sensores enviam uma mensagem *join-request message* (Join REQ) de volta para o CH, usando o protocolo *non-persistent CSMA MAC* para informar que ele pertence ao *cluster*.

Uma vez que a formação de *cluster* é concluída, a transmissão de dados inicia. Neste caso, é utilizado o protocolo *Time Division Multiple Access* (TDMA). Cada nó deve aguardar a sua vez de enviar o sinal de modo a evitar a colisão de dados e da utilização de energia desnecessária.

O mesmo protocolo é utilizado para enviar os dados a partir do CH para a estação base.

A nova abordagem fornecida por HACBA é que a distância entre os dois nós vizinhos é levada em consideração para evitar a redundância de informações e poupar energia. Além disso, os CH são escolhidos uma vez até que sua energia se esgote, evitando o desperdício de energia.

Para a implementação do HACBA utilizou-se o software MATLAB (*MATrix LABoratory*) [155].

Essa unidade também não foi acoplada ao arcabouço por falta de tempo hábil. Mas é possível a integração do arcabouço, implementado na linguagem Java, com o MATLAB através da API (*Application Programming Interface*) chamada matlabcontrol.

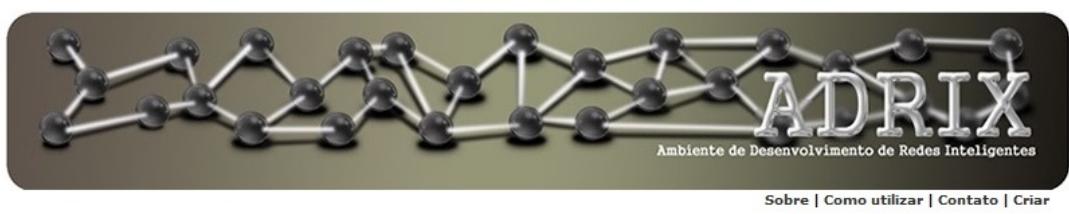
## 5 RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados das implementações do ADRIX e das unidades de simulação e de protocolo de roteamento, que poderão futuramente ser acopladas ao arcabouço. A implementação do ADRIX foi subdividida em duas partes. A primeira aborda o arcabouço e o seu modo de funcionamento. A segunda apresenta as especificações de *hardware* que o ADRIX propõe para as duas aplicações em ecologia de rodovia, que foram os monitoramento de incêndios florestais e a rastreabilidade dos felinos.

A parte final do capítulo apresenta os resultados obtidos na implementação das unidades de simulação com SMA e de protocolo de roteamento HACBA. Embora estas unidades possam ser aplicadas a RSSF de modo geral, suas validações foram realizadas considerando o monitoramento de incêndios florestais.

### 5.1 ADRIX - INTERFACE E FUNCIONAMENTO

A interface gráfica amigável, apresentada na Figura 5.1, é uma importante característica do ADRIX. Os recursos de tela foram concebidos para serem de fácil manipulação e interativos, onde o usuário não encontra dificuldade de manuseio e conta ainda com o auxílio para organizar e recuperar informações necessárias para a aplicação em estudo.



Sobre | Como utilizar | Contato | Criar

---

**Login** \_\_\_\_\_

Login:

Senha:

Menu

Figura 5.1: Interface Gráfica

Esta interface também informa aos usuários os procedimentos de operação, erros e exceções desempenhadas no arcabouço de maneira clara e acessível, observada na Figura 5.2.

The screenshot shows a web-based application titled "ADRIX Ambiente de Desenvolvimento de Redes Inteligentes". The header features a molecular-like graphic and the title. Below the header, a navigation bar includes "Olá, [Leticia]", "Sobre | Como utilizar | Contato | Logout", and a main question: "Qual é a abrangência espacial da área a ser monitorada?". A message below the question states: "Dentro desse ambiente, pode-se desejar monitorar eventos em:". There are two radio buttons: "2D" (unchecked) and "3D" (checked). Another message asks: "Em uma dada dimensão pode-se ter uma área:" followed by three radio buttons: "Regular" (unchecked), "Irregular" (unchecked), and "Parcial" (checked). A tooltip box says "Por favor, selecione uma destas opções". At the bottom left, there is a "Menu" button.

Figura 5.2: Criticas do formulário

O ADRIX conta com dois tipos de contas, já mencionadas no capítulo anterior, que correspondem ao usuário e ao projetista.

O usuário precisa criar uma conta para acessar o questionário, conforme mostrado na Figura 5.3.

The screenshot shows the ADRIX website's homepage with a molecular grid background. The logo 'ADRIX' is prominently displayed, with the tagline 'Ambiente de Desenvolvimento de Redes Inteligentes' underneath. Below the header, there is a navigation bar with links: Sobre, Como utilizar, Contato, and Criar (which is underlined). A horizontal line separates the header from the main content. The main content area has a dark grey header with the text 'Criar Conta'. Below this, there is a form with the following fields:

Nome:	<input type="text" value="José Luiz"/>
Email:	<input type="text" value="jlzoby@hotmail.com"/>
Login:	<input type="text" value="ze"/>
Senha:	<input type="password" value="***"/>
Confirme a senha:	<input type="password" value="***"/>
Local:	<input type="text" value="Brasil"/> <input type="button" value="Acessar"/>

At the bottom of the page is a dark grey footer bar with the word 'Menu'.

Figura 5.3: Criar conta no arcabouço

Após o cadastro efetuado, o usuário está apto a responder o questionário, conforme indicado nas Figuras 5.4 e 5.5.

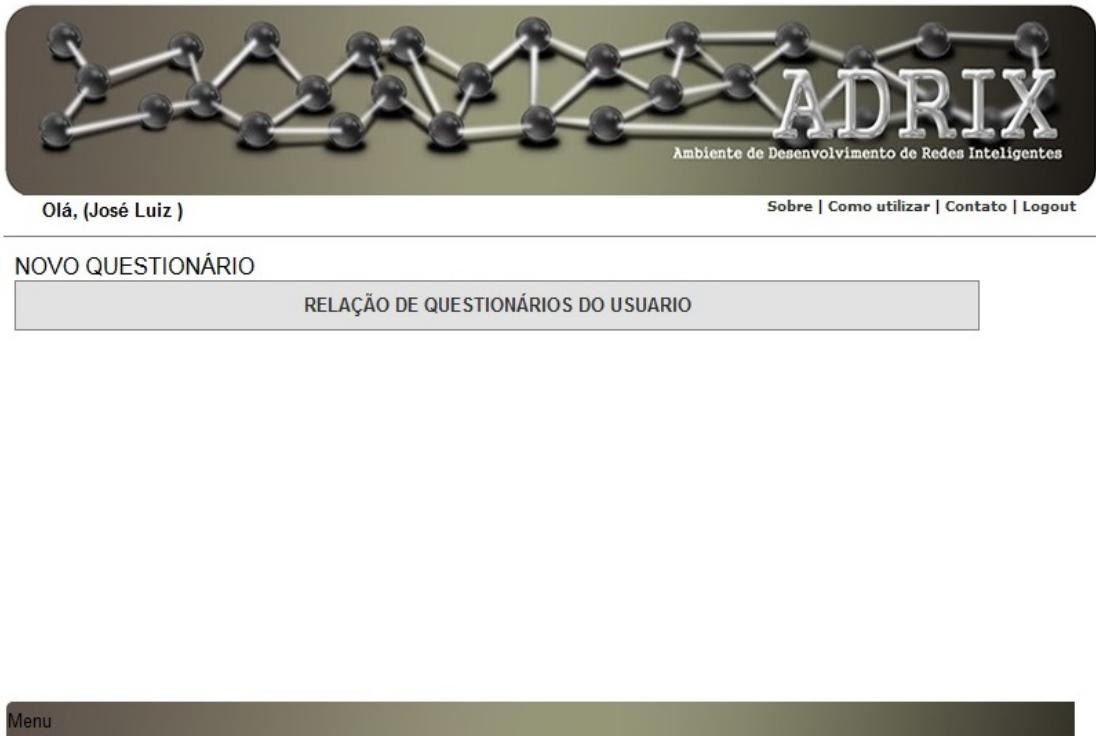
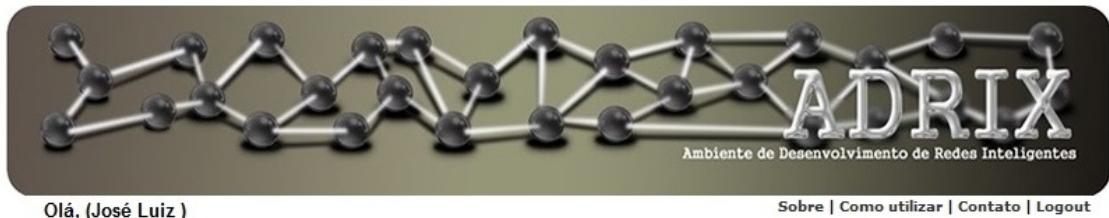


Figura 5.4: Listagem dos questionários

O usuário tem a possibilidade de produzir um ou mais questionário, todos ordenados por data e hora da criação. O questionário pode ser editado e excluído (Figura 5.6).



Olá, (José Luiz )

[Sobre](#) | [Como utilizar](#) | [Contato](#) | [Logout](#)

## Qual é a abrangência espacial da área a ser monitorada?

Dentro desse ambiente, pode-se desejar monitorar eventos em:

2D  3D

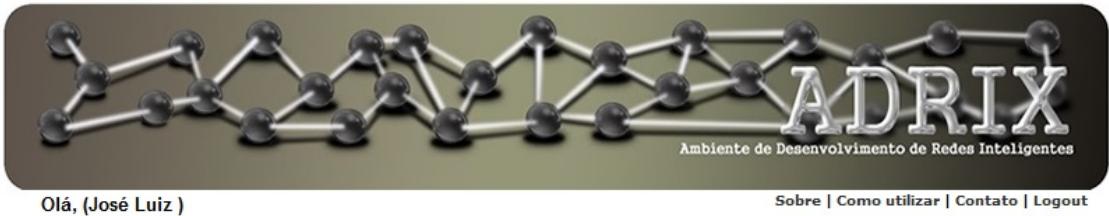
[Anterior](#)

[Salvar Parcial](#)

[Proxima](#)

Menu

Figura 5.5: Início do questionário



Olá, (José Luiz )

[Sobre](#) | [Como utilizar](#) | [Contato](#) | [Logout](#)

### NOVO QUESTIONÁRIO

#### RELAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS DO USUÁRIO

DATA	DATA DE CRIAÇÃO	EDITAR	EXCLUIR
1	07/03/2013 09:37:50	<a href="#">Editar</a>	<a href="#">Excluir</a>
2	07/03/2013 14:59:59	<a href="#">Editar</a>	<a href="#">Excluir</a>

Menu

Figura 5.6: questionário

O usuário não tem a resposta imediata do arcabouço, pois esta deve ser avaliada pelo projetista responsável. Somente após esta análise, a resposta é enviada ao usuário por *email*.

A inclusão, exclusão e edição do questionário do ADRIX não são privilégios apenas do usuários, mas o projetista também tem essa permissão. Entretanto, somente o projetista tem acesso a todo o arcabouço por meio do *menu* apresentado na Figura 5.7, onde:



Figura 5.7: Menu

- Lista de Usuários: corresponde à relação dos usuários cadastrados no arcabouço. O administrador pode excluí-los e alterar o seu tipo de permissão (Figura 5.8);

The screenshot shows the ADRIX web application interface. At the top, there is a decorative banner with a molecular structure and the text "ADRIX" and "Ambiente de Desenvolvimento de Redes Inteligentes". Below the banner, the greeting "Olá, (Leticia)" is displayed, along with navigation links: "Sobre", "Como utilizar", "Contato", and "Logout". The main content area is titled "Novo Usuário" and contains a table titled "RELAÇÃO DE USUÁRIOS". The table has columns: NOME DO USUÁRIO, EMAIL, LOGIN, EDITAR, EXCLUIR, ALTERAR ACESSO, and ACESSO. The data in the table is as follows:

NOME DO USUÁRIO	EMAIL	LOGIN	EDITAR	EXCLUIR	ALTERAR ACESSO	ACESSO
Leticia	letmaia@gmail.com	leticia	Editar	Excluir	Acesso	administrador
José Luiz	jlgzoby@hotmail.com	ze	Editar	Excluir	Acesso	usuario
teste	teste@gmail.com	teste	Editar	Excluir	Acesso	usuario
José Luiz	jlgzoby@hotmail.com	ze	Editar	Excluir	Acesso	usuario

At the bottom left of the interface, there is a "Menu" button.

Figura 5.8: Lista dos usuários

- Nova Pergunta: é o cadastro de perguntas a serem inseridas no questionário. É preciso associá-la à Questão que pertence, seguindo o padrão da linguagem QNRD, Seção 4.1. A tela de cadastro da nova pergunta é mostrada na Figura 5.9;

The screenshot shows the ADRIX interface with a header featuring a molecular network graphic and the text 'ADRIX Ambiente de Desenvolvimento de Redes Inteligentes'. It includes a welcome message 'Olá, (Leticia)' and navigation links 'Sobre | Como utilizar | Contato | Logout'. Below the header is a horizontal menu bar with the highlighted item 'Incluir pergunta'. The main content area contains fields for 'Pergunta:' and 'Nível:', both with dropdown menus. A 'Salvar Pergunta' button is at the bottom. A 'Menu' button is located at the bottom left.

Figura 5.9: Inclusão de perguntas

- Listar Pergunta: envolve a listagem das perguntas cadastradas no questionário. É possível excluí-las, editá-las e alterar o estado para ativo ou inativo (Figura 5.10);

The screenshot shows the ADRIX (Ambiente de Desenvolvimento de Redes Inteligentes) web application. At the top, there is a decorative banner featuring a molecular or network structure. The main header reads "ADRIX" with the subtitle "Ambiente de Desenvolvimento de Redes Inteligentes". Below the header, a greeting "Olá, (Letícia)" is displayed, along with navigation links: "Sobre", "Como utilizar", "Contato", and "Logout".

A section titled "NOVA PERGUNTA" is visible, followed by a table titled "RELAÇÃO DE PERGUNTAS DO ADRIX". The table has columns: ID, NOME, NIVEL, ATIVO, EDITAR, and EXCLUIR. The data in the table is as follows:

ID	NOME	NIVEL	ATIVO	EDITAR	EXCLUIR
5	Qual é a abrangência espacial da área a ser monitorada?	1	true	<a href="#">Editar</a>	<a href="#">Excluir</a>
6	Quais as dimensões área?	2	true	<a href="#">Editar</a>	<a href="#">Excluir</a>
7	Que tipo de sensores serão necessários para o monitoramento do ambiente?	3	true	<a href="#">Editar</a>	<a href="#">Excluir</a>
8	Qual a área de cobertura de sensoriamento?	4	true	<a href="#">Editar</a>	<a href="#">Excluir</a>

Figura 5.10: Listagem das perguntas pertencentes ao questionário

- Nova Resposta: corresponde ao cadastro de uma nova resposta, porém está vinculada a uma pergunta e a uma dependência. Também é cadastrado o nível e a resposta seguindo a linguagem QNRD, Seção 4.1. Adicionalmente é selecionada se a resposta está no modo ativo ou não e o fator de espaço, descrito na Seção 4.3, é indicado (Figura 5.11);

The screenshot shows the ADRIX interface with a header featuring a molecular structure and the text "ADRIX Ambiente de Desenvolvimento de Redes Inteligentes". The top navigation bar includes links for "Sobre", "Como utilizar", "Contato", and "Logout". A greeting "Olá, (Letícia)" is displayed on the left. The main content area has a title "Incluir Resposta". The form fields are:

- Questão:** A dropdown menu labeled "Selecionar".
- Nível:** An input field.
- Resposta:** An input field.
- Descrição Resposta:** A text input field.
- Dependência:** A dropdown menu labeled "Selecionar".
- Ativo:** A checkbox labeled "Ativo".
- Fator de Espaço:** An input field.
- Salvar:** A button labeled "Salvar".

A "Menu" button is located at the bottom of the form area.

Figura 5.11: Inclusão de respostas

- Listar Resposta: é a listagem das possíveis respostas presentes no questionário. O projetista verifica as respostas, se necessário, edita, exclui ou altera o estado ativo, conforme a Figura 5.12;



The screenshot shows the ADRIX environment interface. At the top, there is a decorative header featuring a molecular or network structure and the text "ADRIX" in large letters, with the subtitle "Ambiente de Desenvolvimento de Redes Inteligentes" below it. Below the header, the user is greeted with "Olá, (Letícia)". On the right side of the header, there is a navigation menu with links: "Sobre", "Como utilizar", "Contato", and "Logout". The main content area has a title "NOVA RESPOSTA" and a sub-section title "RELAÇÃO DE RESPOSTAS DO ADRIX". A table follows, listing 10 responses with columns for ID, Nome, Questão, Nível, Pergunta, Dependencia, Ativo, Editar, and Excluir.

ID	NOME	QUESTÃO	NÍVEL	PERGUNTA	DEPENDENCIA	ATIVO	EDITAR	EXCLUIR
272	2D	1	1	0	0	true	Editar	Excluir
273	3D	1	1	1	0	true	Editar	Excluir
274	Regular	1	2	0	0	true	Editar	Excluir
275	Irregular	1	2	1	0	true	Editar	Excluir
276	Círculo / Esfera	1	3	0	0	true	Editar	Excluir
277	Retângulo / Paralelogramo	1	3	1	0	true	Editar	Excluir
278	Quadrado / Cubo	1	3	2	0	true	Editar	Excluir
279	Valor do raio	2	1	0	276	true	Editar	Excluir
280	Base	2	2	0	277	true	Editar	Excluir
281	Altura	2	2	1	277	true	Editar	Excluir

Figura 5.12: Listagem das respostas

- Incluir Microcontrolador: permite adicionar informações referentes ao microcontrolador, observadas na Figura 5.13. Este cadastro foi retirado dos respectivos *datasheets*;

The screenshot shows a web-based application interface for managing network intelligent environments (Redes Inteligentes). The header features a molecular-like logo and the text "ADRIX Ambiente de Desenvolvimento de Redes Inteligentes". It includes a greeting ("Olá, (Letícia)"), navigation links ("Sobre | Como utilizar | Contato | Logout"), and a title bar ("Incluir Microcontrolador"). The main form consists of various input fields for specifying microcontroller parameters, such as Processor, Bit Number, Flash Memory (KB), RAM (KB), SRAM (KB), SDRAM (KB), EEPROM (KB), Analog-to-Digital converter (bit), Clock, Processor Frequency, Processor Voltage (V), AA battery quantity, Active power consumption (mA), Idle power consumption (mA), Sleep power consumption (mA), Platform size (mm), and Cost. A "Incluir" (Include) button is at the bottom right of the form.

Processador:

Número de Bits:

Memória Flash (KB):

Memória RAM (KB):

Memória SRAM (KB):

Memória SDRAM (KB):

Memória EEPROM (KB):

Conversor AD (bit):

Clock:

Frequência do Processador:

Tensão do Processador (V):

Quantidade de Bateria AA:

Consumo do Processador no modo Active (mA):

Consumo do Processador no modo Idle (mA):

Consumo do Processador no modo Sleep (mA):

Tamanho da Plataforma (mm):

Custo:

Figura 5.13: Inclusão de microcontrolador

- Lista Microcontrolador: corresponde ao resultado de todos os microcontroladores cadastrados no arcabouço. As informações podem ser editadas e excluídas. No arcabouço não são listadas todas as variáveis cadastradas, conforme mostrado na Figura 5.14, para que a tela não fique excessivamente carregada de informações. Esta listagem, entretanto, pode ser facilmente acrescentada. No exemplo apresentado na Figura 5.14, foram acrescidas as informações cadastradas sobre o conversor AD;

The screenshot shows the ADRIX environment interface. At the top, there is a decorative header with a network-like pattern and the text "ADRIX Ambiente de Desenvolvimento de Redes Inteligentes". Below the header, the user is greeted with "Olá, (Letícia)". On the right side of the header, there is a navigation menu with links: "Sobre | Como utilizar | Contato | Logout". The main content area has a title "NOVO MICROCONTROLADOR" and a subtitle "RELAÇÃO DE MICROCONTROLADORES". Below these subtitles is a table with the following data:

PROCESSADOR	CONVERSOR AD	EDITAR	EXCLUIR
ok	2	Editar	Excluir
Intel PXA 271 -104	0	Editar	Excluir
Intel PXA 271 - 13	0	Editar	Excluir
Atmel Atmega 103L	10	Editar	Excluir
TI MSP430 T	12	Editar	Excluir
Atmel Atmega 128L	10	Editar	Excluir
TI MSP430	12	Editar	Excluir
msp430f16	12	Editar	Excluir
arm 920t	0	Editar	Excluir
xm2110cb		Editar	Excluir
mpr400		Editar	Excluir

At the bottom left of the content area, there is a "Menu" button.

Figura 5.14: Listagem dos microcontroladores

- Incluir Transceptor: permite a inserção de informações sobre o transceptor (Figura 5.15). Este cadastro também foi extraído dos respectivos *datasheets*;

Olá, (Letícia)

Sobre | Como utilizar | Contato | Logout

### Incluir Transceptor

Transceptor:

Frequência do Transceptor (MHz):

Largura de Banda (kpbs):

Alcance Interno (m):

Alcance Externo (m):

Sensibilidade mínima (dBm):

Sensibilidade máxima (dBm):

Potência mínima (dBm):

Potência máxima (dBm):

Corrente de recepção mínima (mA):

Corrente de recepção máxima (mA):

Tensão mínima :

Tensão máxima :

Temperatura mínima (C):

Temperatura máxima (C):

Custo:

Quantidade de Bateria:

Menu

Figura 5.15: Inclusão do transceptor

- Lista Transceptor: apresenta a relação dos transceptores cadastrados no arcabouço, que podem ser editados e excluídos facilmente, como indicado na Figura 5.16;

RELAÇÃO DE TRANSCEPTORES		
TRANSCPTOR	EDITAR	EXCLUIR
Chipcon CC2420 13	<a href="#">Editar</a>	<a href="#">Excluir</a>
Chipcon CC2420 104	<a href="#">Editar</a>	<a href="#">Excluir</a>
Chipcon CC2420 90	<a href="#">Editar</a>	<a href="#">Excluir</a>
RFM TR1000	<a href="#">Editar</a>	<a href="#">Excluir</a>
Atmel ATRF230	<a href="#">Editar</a>	<a href="#">Excluir</a>
Chipcon CC1000	<a href="#">Editar</a>	<a href="#">Excluir</a>
Chipcon CC2420 94	<a href="#">Editar</a>	<a href="#">Excluir</a>

Figura 5.16: Listagem dos transceptores

- Incluir Plataforma: corresponde ao cadastro das plataformas comerciais usadas em aplicações de RSSF. A plataforma está vinculada a um microcontrolador e a um transceptor, conforme a Figura 5.17.

The screenshot shows a web-based application for managing network platforms. At the top, there is a decorative header featuring a molecular or network graph design and the text "ADRIX" in large letters, with "Ambiente de Desenvolvimento de Redes Inteligentes" below it. The top right corner includes a user greeting ("Olá, (Letícia)"), navigation links ("Sobre | Como utilizar | Contato | Logout"), and a "Logout" button.

**Incluir Plataforma**

**Nome da Plataforma:**

**Microcontrolador:**  Selecione ▾

**Transceptor:**  Selecione ▾

**Sistema Operacional da Plataforma:**

**Ano da Plataforma:**

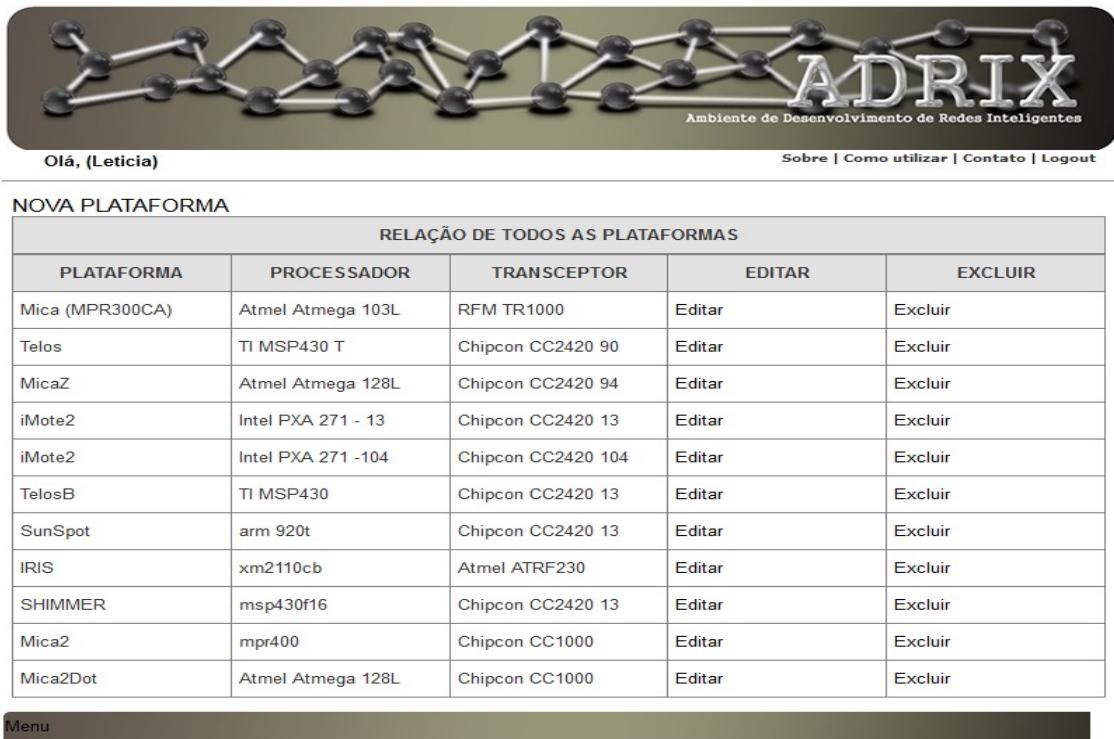
**Custo:**

**Incluir**

**Menu**

Figura 5.17: Inclusão da plataforma

- Lista Plataforma: é a relação das plataformas comerciais, conforme mostra a Figura 5.18, que inclui informações dos processadores e transceptores vinculados. Como em todas as tabelas, a exclusão e a edição também estão presentes;



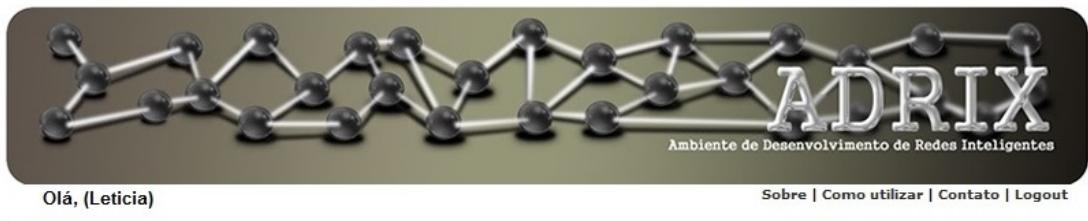
The screenshot shows a web-based application for managing network platforms. At the top, there's a decorative header featuring a molecular or network graph design and the text "ADRIX" in large letters, with the subtitle "Ambiente de Desenvolvimento de Redes Inteligentes" below it. The top navigation bar includes links for "Olá, (Letícia)", "Sobre", "Como utilizar", "Contato", and "Logout". Below the header, a title "NOVA PLATAFORMA" is displayed above a table titled "RELAÇÃO DE TODOS AS PLATAFORMAS". The table has columns for "PLATAFORMA", "PROCESSADOR", "TRANSECTOR", "EDITAR", and "EXCLUIR". The data in the table is as follows:

PLATAFORMA	PROCESSADOR	TRANSECTOR	EDITAR	EXCLUIR
Mica (MPR300CA)	Atmel Atmega 103L	RFM TR1000	Editar	Excluir
Telos	TI MSP430 T	Chipcon CC2420 90	Editar	Excluir
MicaZ	Atmel Atmega 128L	Chipcon CC2420 94	Editar	Excluir
iMote2	Intel PXA 271 - 13	Chipcon CC2420 13	Editar	Excluir
iMote2	Intel PXA 271 -104	Chipcon CC2420 104	Editar	Excluir
TelosB	TI MSP430	Chipcon CC2420 13	Editar	Excluir
SunSpot	arm 920t	Chipcon CC2420 13	Editar	Excluir
IRIS	xm2110cb	Atmel ATRF230	Editar	Excluir
SHIMMER	msp430f16	Chipcon CC2420 13	Editar	Excluir
Mica2	mpr400	Chipcon CC1000	Editar	Excluir
Mica2Dot	Atmel Atmega 128L	Chipcon CC1000	Editar	Excluir

A "Menu" button is located at the bottom left of the page.

Figura 5.18: Listagem da plataforma

- Incluir Artigo: corresponde à inclusão de trabalhos disponibilizados pela literatura sobre RSSF (Figura 5.19), que devem ser incluídas para permitir que os resultados obtidos da saída do ADRIX para uma determinada aplicação possam ser comparados com aqueles obtidos em outros estudos. Nesta tese, os artigos cadastrados para compor o banco de dados são aqueles relacionados a aplicações de RSSF em ecologia de rodovias, especificamente de incêndios florestais e felinos, conforme apresentado na Seção 4.2;



Olá, (Leticia)

Sobre | Como utilizar | Contato | Logout

## Incluir Artigo

Título do Artigo:

Autores do Artigo:

Publicação:

Ano da Publicação:

Aplicação:

Tamanho da Área:

Sensores Utilizados:

Tempo de Vida da Aplicação:

Transceptor:

Sensibilidade do Transceptor:

Potência:

Largura de Banda (kbps):

Frequêcia do Transceptor:

Processador:

Memória Flash:

Memória RAM:

Memória SRAM:

Memória SDRAM:

Memória EEPROM:

Câmera:

Memória Card:

Frames por Segundo:

Resolução da Imagem:

Incluir

Menu

Figura 5.19: Inclusão de artigos

- Lista Artigo: é a enumeração dos artigos cadastrados e que podem ser excluídos ou editados, como apresenta a Figura 5.20;

**Novo Artigo**

RELAÇÃO DE ARTIGOS				
NOME DO ARTIGO	AUTO DO ARTIGO	LOCAL	EDITAR	EXCLUIR
A wireless sensor network deployment for rural and forest fire detection and verification	Lloret, J., Garcia, M., Bri, D. e Sendra, S	Sensors	Editar	Excluir
A wireless sensor network for vineyard monitoring that uses image processing	Lloret, J., Bosch, I., Sendra, S. e Serrano, A.	Sensors	Editar	Excluir
Rapid prototyping for wildlife and ecological monitoring	Huang, J.H., Chen, Y.Y., Huang, Y.T., Lin, P.Y., C	Systems Journal	Editar	Excluir
Camera traps as sensor networks for	Kays, R., Kranstauber, B..	International Journal of Research and	Editar	Excluir

Figura 5.20: Listagem dos artigos cadastrados

- Gerenciamento do Questionário: possui um identificador do questionário relacionado com o nome do usuário, sua data de criação, resumo e cálculos (Figura 5.21). No campo resumo é possível obter a listagem de todas as perguntas e respostas escolhidas (Figura 5.22)

RELAÇÃO DE TODOS OS QUESTIONÁRIOS DO ADRIX					
CÓDIGO QUESTIONARIO	NOME	DATA CRIAÇÃO	RESUMO	CÁLCULO	EDITAR
408	Leticia	05/03/2013 12:01:41	Resumo	Calcular	-
443	José Luiz	07/03/2013 09:37:50	Resumo	Calcular	-
479	Leticia	07/03/2013 14:19:10	Resumo	Calcular	-
481	José Luiz	07/03/2013 14:59:59	Resumo	Calcular	-
513	Katia	11/03/2013 18:18:11	Resumo	Calcular	-
548	Katia	11/03/2013 18:35:13	Resumo	Calcular	-
601	Leticia	11/03/2013 20:11:38	Resumo	Calcular	-

Figura 5.21: Gerenciamento do questionário

The screenshot shows the ADRIX software interface. At the top, there is a decorative header featuring a molecular or lattice structure. To the right of the structure, the word "ADRIX" is written in large, bold, white letters, with "Ambiente de Desenvolvimento de Redes Inteligentes" in smaller text below it. Below the header, there is a dark navigation bar with the text "Olá, (Letícia)" on the left and "Sobre | Como utilizar | Contato | Logout" on the right. The main content area has a dark background with white text. The first question, "1-Qual é a abrangência espacial da área a ser monitorada?", is displayed in a white box. Below it, there are three options: "3D", "Irregular", and "Retângulo / Paralelogramo". The second question, "2-Quais as dimensões área?", is also in a white box. Below it, there is a table with two rows: "Base 13.0" and "Altura 12.0". The third question, "3-Que tipo de sensores serrão necessários para o monitoramento do ambiente?", is in another white box. Below it, there are two options: "Temperatura do ambiente" and "Umidade do solo". The fourth question, "4-Qual a área de cobertura de sensoriamento?", is in a final white box. Below it, there is a table with one row: "Temperatura do ambiente 12.0".

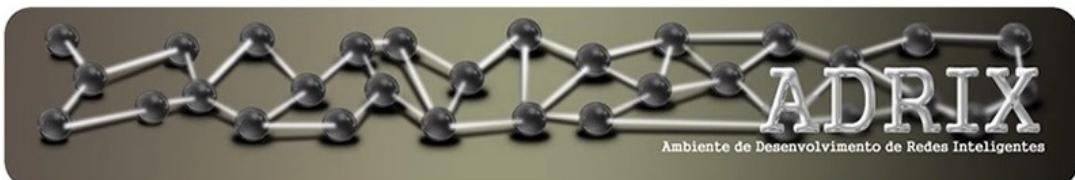
Base	13.0
Altura	12.0

Temperatura do ambiente	12.0
-------------------------	------

Figura 5.22: Resumo

No menu Gerenciamento do Questionário, existe o item denominado calcular que faz com que o ADRIX execute os procedimentos/cálculos necessários descritos na Seção 4.3. Como resultado, são apresentadas três possíveis soluções para atendimento das exigências da aplicação:

- Solução 1: configuração onde todos os requisitos foram atendidos e existência de uma plataforma comercial compatível. Esta plataforma é composta de transceptor e de microprocessador;
- Solução 2: configuração onde os requisitos foram atendidos parcialmente. Existência de um transceptor ou de um microprocessador presentes no mercado porém juntos não formam uma plataforma comercial (Figura 5.23);
- Solução 3: não há um transceptor e um microprocessador no mercado que atenda as especificações apresentadas. Uma opção é a construção de um nó dedicado. Alternativamente, como não há um *hardware* que atenda a demanda do usuário, o projetista junto ao usuário pode alterar a especificação como, por exemplo, diminuir a taxa de transferência, caso seja alta (Figura 5.23).



Olá, (Leticia)

[Sobre](#) | [Como utilizar](#) | [Contato](#) | [Logout](#)

## Solução 1

Não há.

## Solução 2

Nome Plataforma:

Quantidade Nós:25

Microcontrolador:Atmel Atmega 103L	Sensibilidade:0
Consumo: 1.018	Potência:-83
Memória Flash:128.0	Data Rate:36600.0
Memória Ram:0.0	
Memória Sram:4.0	
Memória Sdram:0.0	
Memória EEPROM:4.0	

Artigos relacionados (10):

- A wireless sensor network deployment for rural and forest fire detection and verification
- A wireless sensor network for vineyard monitoring that uses image processing
- Rapid prototyping for wildlife and ecological monitoring
- Camera traps as sensor networks for monitoring animal communities
- FireWxNet: a multilayered portable wireless system for monitoring weather conditions in wildland fire environments
- A design and implementation of forest-fires surveillance system based on wireless sensor networks for South Korea mountains
- Automatic fire detection: a survey from wireless sensor network perspective
- Monitoring animal behaviour and environmental interactions using wireless sensor networks, GPS collars and satellite remote sensing
- CARNIVORE: a disruption-tolerant system for studying wildlife
- Deployment design of wireless sensor network for simple multi-point surveillance of a moving target

## Solução 3

Memória: 2457600.0 Kbytes

Sensibilidade: 0 dBm

Potência: -42 dBm

Data Rate: 0.0 Kbps

Quantidade de nós: 0

Artigos relacionados (10):

- A wireless sensor network deployment for rural and forest fire detection and verification
- A wireless sensor network for vineyard monitoring that uses image processing
- Rapid prototyping for wildlife and ecological monitoring
- Camera traps as sensor networks for monitoring animal communities
- FireWxNet: a multilayered portable wireless system for monitoring weather conditions in wildland fire environments
- A design and implementation of forest-fires surveillance system based on wireless sensor networks for South Korea mountains
- Automatic fire detection: a survey from wireless sensor network perspective
- Monitoring animal behaviour and environmental interactions using wireless sensor networks, GPS collars and satellite remote sensing
- CARNIVORE: a disruption-tolerant system for studying wildlife
- Deployment design of wireless sensor network for simple multi-point surveillance of a moving target

## **5.2 ADRIX - APLICAÇÃO NA ECOLOGIA DE RODOVIAS**

Não foi possível realizar a validação dos resultados do arcabouço a partir de projetos de RSSF efetivamente implementados. A abrangente pesquisa realizada na literatura, que foi incluída no banco de dados do arcabouço, não identificou trabalhos que abordassem de forma completa os principais elementos da rede. Além disso, é importante destacar que o ADRIX requer grande quantidade de informações que apenas o usuário, considerando a especificidade da aplicação, tem condições de fornecer.

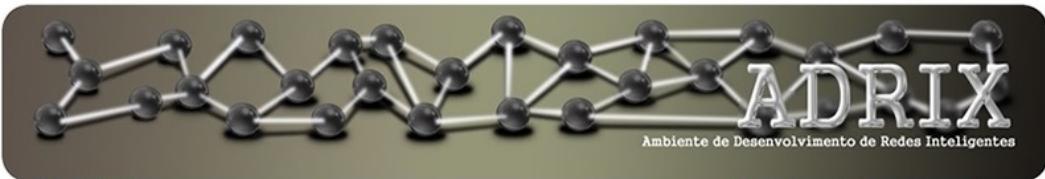
Para demonstrar o potencial do arcabouço, foi selecionado o tema ecologia de rodovias. A professora Doutora Kátia Mazzei, do Instituto Florestal de São Paulo, foi convidada a responder o questionário do ADRIX nos dois estudos de caso: monitoramento de incêndios florestais e monitoramento de felinos. As suas respostas são apresentadas no Apêndice C.

Cabe destacar que inicialmente, o arcabouço não encontrou uma plataforma comercial para os dois estudos de caso. Na revisão do questionário respondido pela especialista, observou-se que não haviam sido preenchidas algumas informações importantes exigidas pelo ADRIX. Alguns exemplos de campos deixados em branco foram o tamanho do arquivo e o ponto de coleta.

Este aspecto reforça a importância da interação entre o usuário e o projetista na utilização do arcabouço. A integração e complementariedade entre as duas áreas de conhecimento é essencial para a construção e otimização da rede.

Em um segundo momento, as lacunas de informação identificadas no questionário foram preenchidas e revisadas. No monitoramento do fogo, os ajustes envolveram a definição da distância do ponto de coleta estabelecido com 10 metros, e do tamanho do arquivo, considerando que havia sido selecionado previamente pela especialista o formato texto. No caso do monitoramento de felinos, foi reduzida a distância entre os pontos de coleta, pois o valor de 250 m apresenta-se elevado, e adotado o padrão de imagem de baixa definição VGA de 640x480.

Após estas complementações e ajustes, os questionários foram submetidos para o processamento de arcabouço e parte dos resultados obtidos então são apresentados na Figura 5.24. Nos dois estudos de caso foram identificadas plataformas comerciais, capazes de atender as demandas da rede requeridas pela especialista.



Olá, (Letícia)

[Sobre](#) | [Como utilizar](#) | [Contato](#) | [Logout](#)

## Solução 1

**Nome Plataforma:Mica (MPR300CA)**

**Quantidade Nós:25**

Nome Micro:Atmel Atmega 103L	Nome Transceptor:RFM TR1000
Memória Flash:128.0	Data rate:50.0
Memória Ram:0.0	Sensibilidade :-91
Memória Sram:4.0	Potência:0
Memória Sdram:0.0	Consumo:
Memória EEPROM:4.0	
Consumo: 1.018	

Artigos relacionados (10):

- A wireless sensor network deployment for rural and forest fire detection and verification
- A wireless sensor network for vineyard monitoring that uses image processing
- Rapid prototyping for wildlife and ecological monitoring
- Camera traps as sensor networks for monitoring animal communities
- FireWxNet: a multilayered portable wireless system for monitoring weather conditions in wildland fire environments
- A design and implementation of forest-fires surveillance system based on wireless sensor networks for South Korea mountains
- Automatic fire detection: a survey from wireless sensor network perspective
- Monitoring animal behaviour and environmental interactions using wireless sensor networks, GPS collars and satellite remote sensing
- CARNIVORE: a disruption-tolerant system for studying wildlife
- Deployment design of wireless sensor network for simple multi-point surveillance of a moving target

**Nome Plataforma:Telos**

**Quantidade Nós:25**

Nome Micro:TI MSP430 T	Nome Transceptor:Chipcon CC2420 90
Memória Flash:48.0	Data rate:250.0
Memória Ram:10.0	Sensibilidade :-90
Memória Sram:0.0	Potência:0
Memória Sdram:0.0	Consumo:
Memória EEPROM:512.0	
Consumo: 11.142,06	

Artigos relacionados (10):

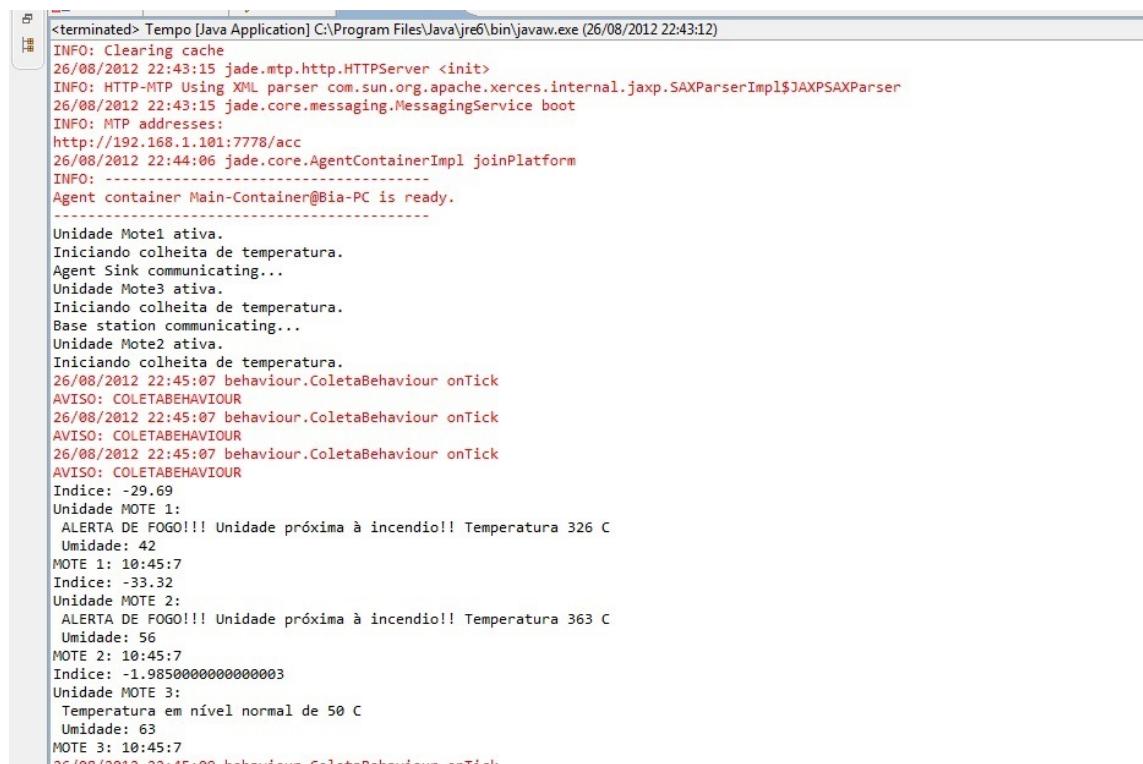
- A wireless sensor network deployment for rural and forest fire detection and verification
- A wireless sensor network for vineyard monitoring that uses image processing
- Rapid prototyping for wildlife and ecological monitoring
- Camera traps as sensor networks for monitoring animal communities
- FireWxNet: a multilayered portable wireless system for monitoring weather conditions in wildland fire environments
- A design and implementation of forest-fires surveillance system based on wireless sensor networks for South Korea mountains
- Automatic fire detection: a survey from wireless sensor network perspective
- Monitoring animal behaviour and environmental interactions using wireless sensor networks, GPS collars and satellite remote sensing
- CARNIVORE: a disruption-tolerant system for studying wildlife
- Deployment design of wireless sensor network for simple multi-point surveillance of a moving target

Isto permite que o usuário juntamente com o projetista avaliem os resultados obtidos a luz de outros trabalhos e que de forma iterativa otimizem a RSSF. Além da identificação das especificações de *hardware* a saída do ADRIX indica ao usuário os artigos carregados no BD que possuem variáveis em comum, como mostra a Figura 5.24.

### 5.3 UNIDADE DE SIMULAÇÃO

A unidade de simulação, que emprega SMA para RSSF, Foi avaliada considerando eventos de combustão florestal. Cabe destacar que ele pode ser empregado em outras aplicações, sendo necessário apenas alterar o PAGE e a classificação de cada agente.

Na unidade de simulação é possível visualizar as ações dos agentes. Eles conseguem identificar um limiar de fogo, trocam informações e, de acordo com o valor recebido, as velocidades de aquisição e de transmissão são ajustadas de modo a otimizar o tempo de vida da aplicação, conforme mostrado na Figura 5.25.



```
<terminated> Tempo [Java Application] C:\Program Files\Java\jre6\bin\javaw.exe (26/08/2012 22:43:12)
INFO: Clearing cache
26/08/2012 22:43:15 jade.mtp.http.HTTPServer <init>
INFO: HTTP-MTP Using XML parser com.sun.org.apache.xerces.internal.jaxp.SAXParserImpl$JAXPSAXParser
26/08/2012 22:43:15 jade.core.messaging.MessagingService boot
INFO: MTP addresses:
http://192.168.1.101:7778/acc
26/08/2012 22:44:06 jade.core.AgentContainerImpl joinPlatform
INFO: -----
Agent container Main-Container@Bia-PC is ready.
-----
Unidade Motel1 ativa.
Iniciando colheita de temperatura.
Agent Sink communicating...
Unidade Mote3 ativa.
Iniciando colheita de temperatura.
Base station communicating...
Unidade Mote2 ativa.
Iniciando colheita de temperatura.
26/08/2012 22:45:07 behaviour.ColetaBehaviour onTick
AVISO: COLETABEHAVIOR
26/08/2012 22:45:07 behaviour.ColetaBehaviour onTick
AVISO: COLETABEHAVIOR
26/08/2012 22:45:07 behaviour.ColetaBehaviour onTick
AVISO: COLETABEHAVIOR
Indice: -29.69
Unidade MOTE 1:
ALERTA DE FOGO!!! Unidade próxima à incendio!! Temperatura 326 C
Umidade: 42
MOTE 1: 10:45:7
Indice: -33.32
Unidade MOTE 2:
ALERTA DE FOGO!!! Unidade próxima à incendio!! Temperatura 363 C
Umidade: 56
MOTE 2: 10:45:7
Indice: -1.9850000000000003
Unidade MOTE 3:
Temperatura em nível normal de 50 C
Umidade: 63
MOTE 3: 10:45:7
26/08/2012 22:45:09 behaviour.ColetaBehaviour onTick
```

Figura 5.25: Saída do simulador

## 5.4 UNIDADE DE PROTOCOLO DE ROTEAMENTO

A simulação do protocolo e a comparação com o LEACH considerou o seguinte cenário: eventos de combustão em florestas e o monitoramento de uma RSSF, onde nós são distribuídos de forma aleatória. A simulação foi realizada usando os parâmetros descritos na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Parâmetros da Simulação

Parâmetros	Valores
Número de rodadas da simulação	10.000
Tamanho da área (m <sup>2</sup> )	100 x 100
<i>Grid</i>	1 x 1
Número de sensores	100
Nós avançados	10
Raio de sensoriamento(m)	10
Raio de comunicação(m)	(15 e 70)
Taxa de dados(Mb/s)	1
Tamanho da mensagem(bytes)	500
Tamanho do cabeçalho(bytes)	25

Alguns nós sensores foram considerados tendo mais energia. Esses nós foram chamados de nós sensores avançados.

A taxa de transferência, o comprimento da mensagem, o comprimento de cabeçalho pode ser alterada na estrutura de acordo com as características de hardware.

Os principais elementos que compõem a rede são exibidos de acordo com a simbologia apresentada na Figura 5.26. Descrição de cada um dos símbolos:

Embora o protocolo tenha sido aplicado para o acompanhamento dos incêndios florestais, HACBA pode ser utilizado em outras aplicações de RSSF.

A distribuição de nó em LEACH é apresentada na Figura 5.27. Como mencionado anteriormente, o LEACH não analisa as características do hardware, tais como detecção de raios e de comunicação. A Figura 5.27 mostra diferentes CHs próximos uns dos outros e a redundância de nós sensores distribuídos, que compromete a eficiência do protocolo.



- Delimitação de área incendiada com nós dentro
- - Nós normais;
- + - Nós avançados;
- ✗ - Estação Base;
- ✳, ou \* - *Cluster-heads*;
- - Nós sem energia; e
- ⊗ - Nós desativados (*sleeping mode*).

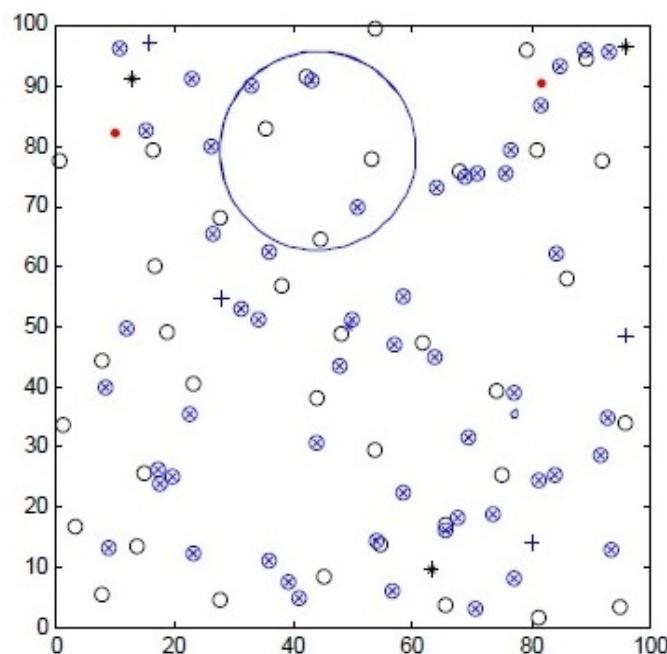


Figura 5.26: Protocolo HACBA

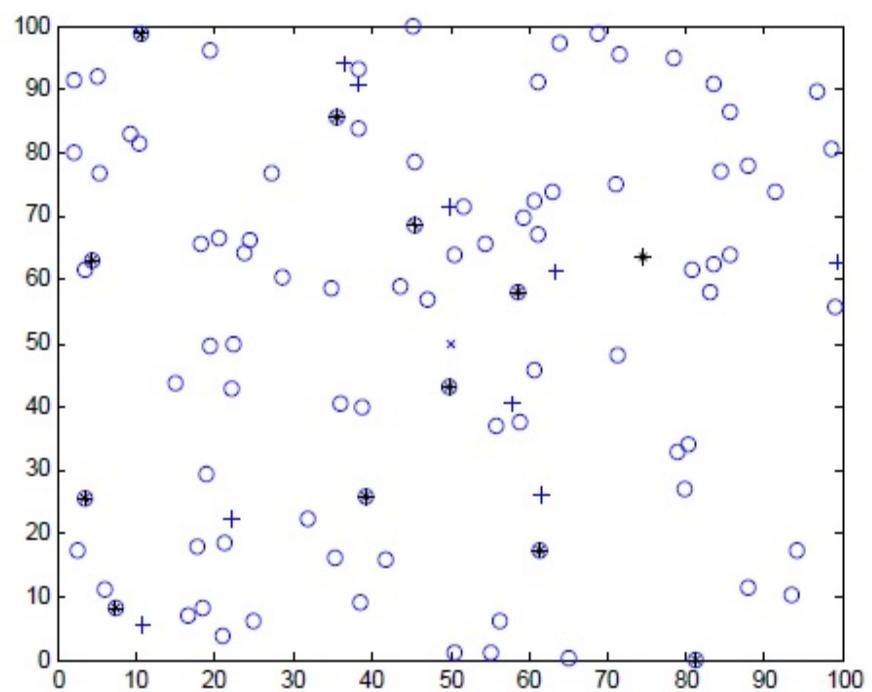


Figura 5.27: CHs atribuídos ao protocolo LEACH

Os resultados de simulação do HACBA, apresentados nas Figuras 5.28 e 5.29, indicam que o aumento do raio de comunicação reduz o número de CHs. A utilização de um raio de comunicação menor resulta em uma maior quantidade de informação enviada para a estação base.

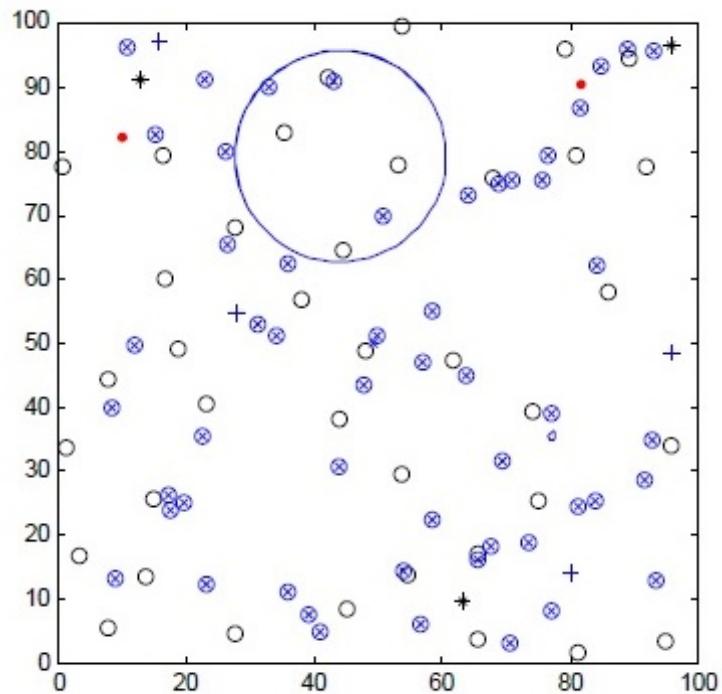


Figura 5.28: CH atribuídos ao protocolo HACBA-70

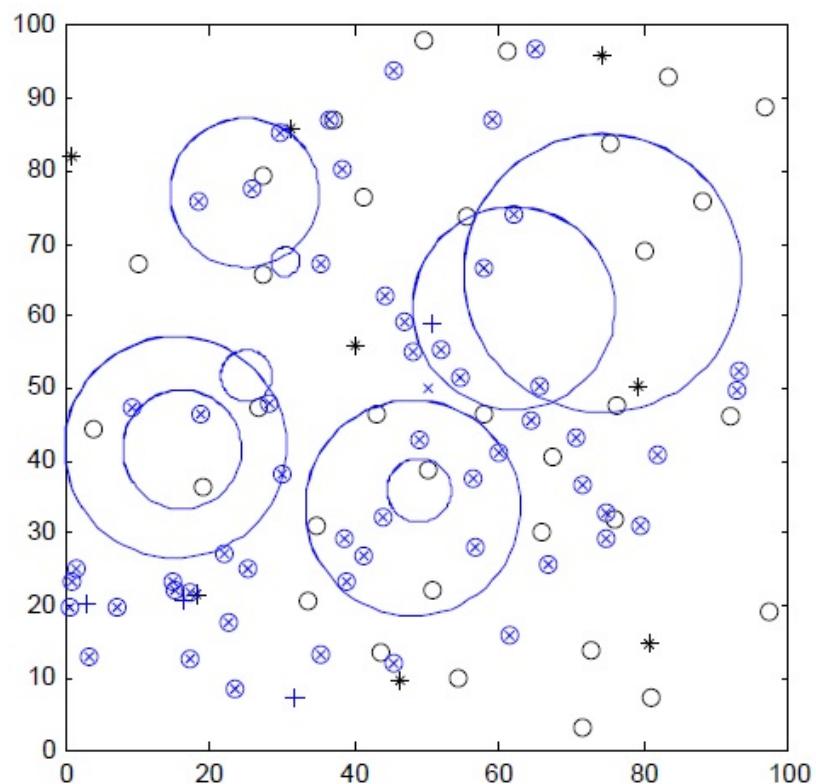


Figura 5.29: CH atribuídos ao protocolo HACBA-15

A Figura 5.30 mostra o número de pacotes enviados para a base. O LEACH apresenta vários pacotes enviados de uma só vez, uma inconstância que está relacionada com a formação de cluster dinâmico. Essa inconstância se deve à grande quantidade de mensagens enviadas pelos CHs por rodada. O processo de clusterização é repetido a cada rodada, modificando, assim, constantemente o número de CHs. Por outro lado, o HACBA é mais constante, porque o processo de clusterização é menos frequente: o CH deve morrer antes que aconteça o próximo processo de escolha (Figura 5.30).

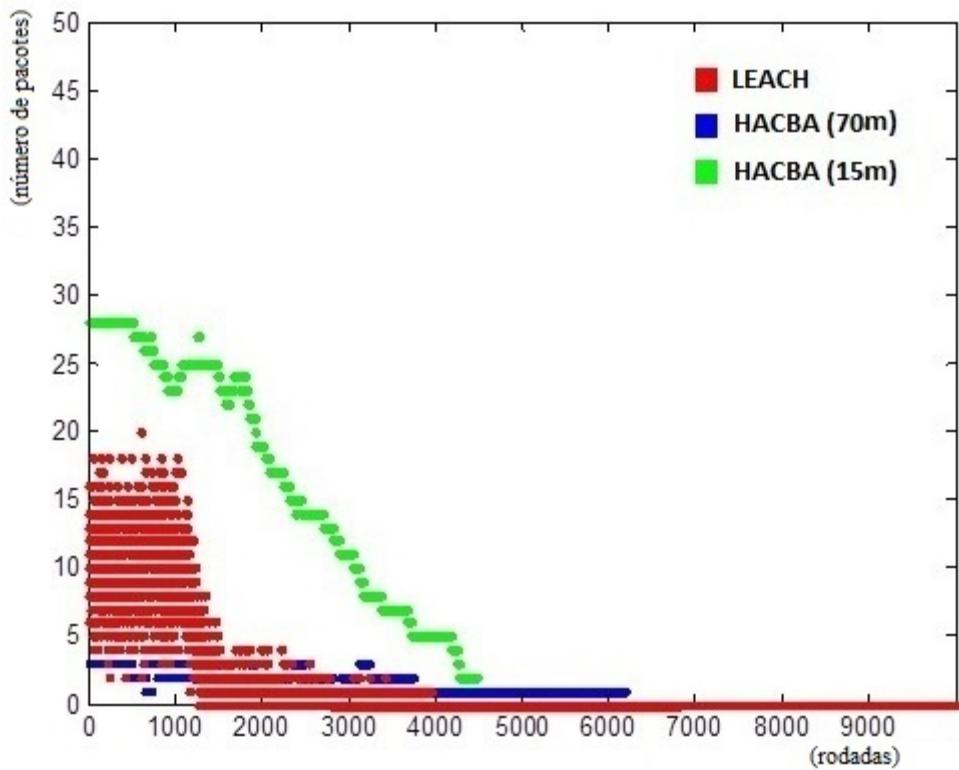


Figura 5.30: Quantidade de pacotes enviados à estação base em função da rodada

Os resultados apresentados na Figura 5.30 também indicam que o HACBA-15 produz um número maior de CHs, aumentando o número de pacotes enviados para a estação de base e o consumo de energia comparado com HACBA-70.

A energia média e o número de nós mortos em uma rodada são apresentados nas Figuras 5.31 e 5.32 .

As duas simulações com o HACBA indicam a morte do último nó após rodada 4000. No LEACH, isto ocorre por volta da 2000, conforme apresentado na Figura 5.32.

A morte do nó sensor pode estar relacionada com a falta de energia, que é apresentada na Figura 5.31. A redução do número de CHs também resultou na optimização de energia, aumentando assim o tempo de vida dos nós sensores.

A comparação entre o HACBA e o LEACH indica que o primeiro apresenta uma maior eficácia.

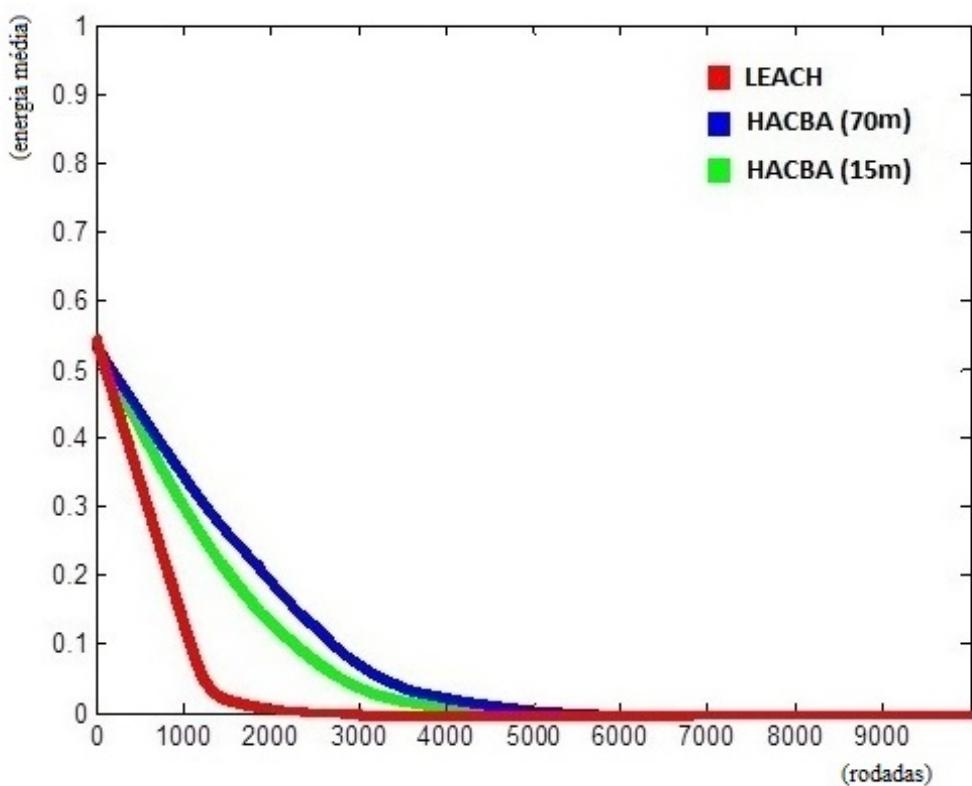


Figura 5.31: Energia em função da rodada

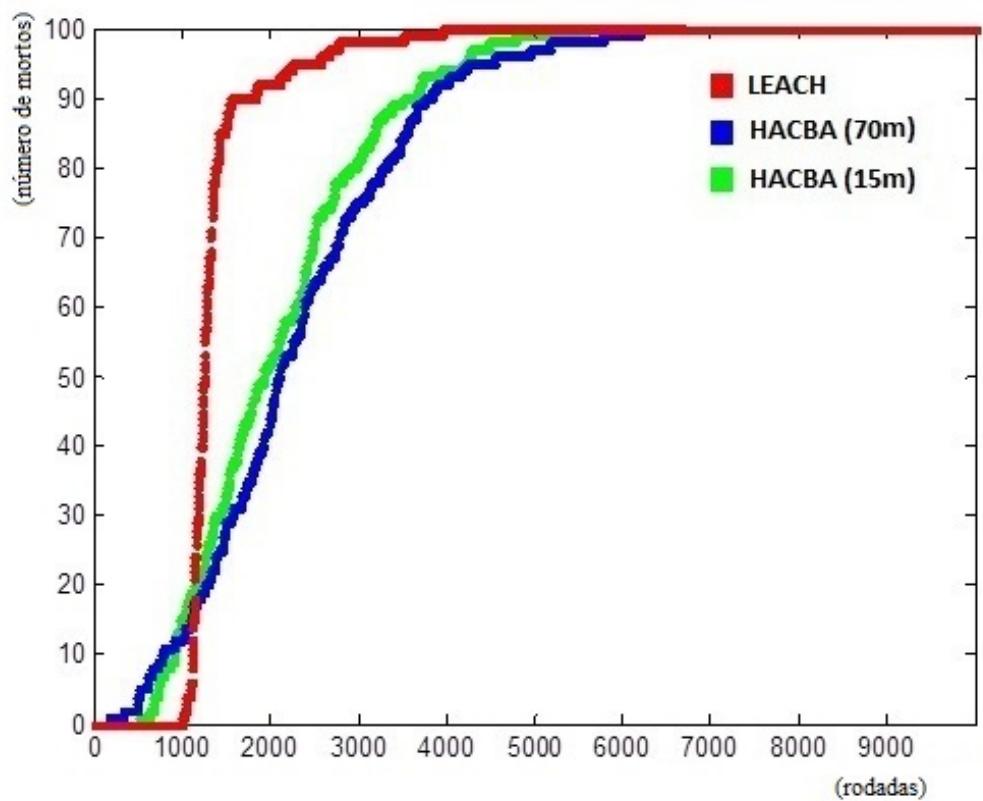


Figura 5.32: Número de nós sensores mortos em função da rodada

## 6 CONCLUSÃO

As RSSF representam uma tecnologia promissora com potencial para diversas aplicações, tais como saúde, meio ambiente e área militar. Embora exista atualmente uma vasta literatura sobre o assunto, observa-se que os trabalhos consideram, de forma geral, aspectos específicos de uma RSSF, concentrando-se nas linhas de *hardware*, aplicações e sistema.

O arcabouço Ambiente de Desenvolvimento de Redes de Sensores sem Fio Inteligente (ADRIX) representa uma nova abordagem para a construção de uma RSSF, pois apresenta uma sequência ordenada e estruturada de etapas que devem ser realizadas durante a concepção, o desenvolvimento até a implementação da rede. Representa, assim, uma ferramenta que orienta e auxilia o projetista na construção de uma RSSF.

O ADRIX foi desenvolvido a partir de uma ampla revisão da bibliografia disponível sobre RSSF. A partir de uma estrutura de projeto de RSSF genérica, foi concebida a arquitetura do arcabouço que é composto por seis módulos: especificação, organização, otimização, ferramentas, serviço e gerenciamento. Técnicas de IA podem ser aplicadas aos módulos do arcabouço, a fim de apoiar o processo de tomada de decisão do projetista.

Na descrição da arquitetura do ADRIX, foram sistematizados os aspectos mais significantes da construção de RSSF. Os temas considerados mais críticos para RSSF são destacados e os trabalhos correlatos mais relevantes indicados.

O módulo Especificação é a concepção da configuração da rede e do nó sensor antes da implantação da RSSF. O módulo Organização verifica todos os requisitos necessários para melhor escolha do *hardware/software* embarcado. A otimização de uma RSSF e a incorporação de técnicas de IA pertencem ao módulo Otimização. O módulo Ferramentas, por sua vez, apresenta a instalação, operação e manutenção de uma RSSF. No módulo Serviço, são apresentados os conceitos relacionados ao sensoriamento, à comunicação e ao processamento de uma RSSF dos outros módulos do ADRIX. Por fim, o módulo Gerenciamento é a gestão de uma RSSF.

O arcabouço ADRIX foi parcialmente implementado nesta tese. A implementação realizada teve como objetivo proporcionar ao projetista uma indicação do *hardware* mais adequado para uma RSSF. O trabalho foi orientado pela perspectiva de que o sistema pudesse ser utilizado em qualquer aplicação de RSSF, fornecendo a especificação formal da plataforma de um nó sensor, comercial ou nó dedicado, considerando taxa de transmissão, transceptor, frequência, memória e processador.

A fim de demonstrar o potencial do arcabouço, o ADRIX foi aplicado a dois estudos de caso na área de ecologia de rodovias: monitoramentos de incêndios florestais e de felinos. As informações requeridas pelo arcabouço para os casos estudados foram fornecidas por especialista (usuária) no tema.

Como resultados, o arcabouço apresentou as especificações de *hardware* para atender às demandas da especialista através de plataformas comerciais disponíveis no mercado. Além disso, identificou, por meio do BD, um conjunto de trabalhos que utilizaram variáveis semelhantes e que poderão ser utilizados pelo projetista e usuário para aperfeiçoamento da rede.

Um aspecto relevante observado, durante a aplicação do ADRIX, foi a importância da interação entre o projetista e o usuário em suas respectivas áreas de conhecimento. Neste sentido, o arcabouço, em função da sua interface amigável e da sua possibilidade de desenvolvimento futuro, se revela como ferramenta para proporcionar a integração dos diferentes conhecimentos de projetistas e usuários que normalmente estão envolvidos na construção de RSSF.

Cabe comentar que não foi possível realizar a validação dos resultados do arcabouço a partir de projetos de RSSF efetivamente implementados. A abrangente pesquisa realizada na literatura não identificou trabalhos que abordassem de forma completa os principais elementos da rede. Além disso, é importante destacar que o ADRIX requer grande quantidade de informações que apenas o usuário, considerando a especificidade da aplicação, tem condições de fornecer.

A arquitetura do arcabouço foi concebida de modo a permitir que sejam acopladas outras unidades envolvendo, por exemplo, modelos de energia e de canal. Duas unidades, que poderão ser acopladas ao ADRIX, foram implementadas: de simulação e de protocolo de roteamento (HACBA). As suas validações foram realizadas considerando a aplicação de monitoramento de incêndios florestais.

A unidade de simulação foi implementada com foco no monitoramento de incêndios florestais, por isso incluiu eventos de combustão e de comunicação, aquisição de dados e avaliação da estação base. A arquitetura do simulador permite sua utilização em outras aplicações, exigindo a adequação do PAGE por meio do questionário.

A unidade de protocolo de roteamento apresenta uma estratégia para lidar com os desafios mais importantes em RSSF, a eficiência do consumo de energia e qualidade de transmissão da mensagem, através da integração de protocolos existentes. O protocolo HACBA representa uma nova abordagem para o processo de roteamento em RSSF, porque incorpora características de *hardware*. Embora o protocolo tenha sido desenvolvido para acompanhamento dos incêndios florestais, pode ser utilizado a outras aplicações de RSSF.

A metodologia apresentada para a construção do arcabouço ADRIX tem o potencial para representar uma linha de pesquisa, pois permite integrar as diversas abordagens sobre RSSF com foco num objetivo relevante e prático: orientar usuário e projetista no processo de tomada de decisão sobre a rede que se quer construir. Isto representa a redução de tempo e custo em projetos de RSSF.

Nesta perspectiva, trabalhos poderão vir a ser desenvolvidos futuramente em diversas frentes.

Inicialmente as unidades de simulação e de protocolo de roteamento, desenvolvidas nesta tese, podem ser facilmente acopladas ao arcabouço para representarem saídas do ADRIX. Especificamente em relação à unidade de simulação, considera-se relevante futuramente a avaliação individual de temperatura instantânea e de consumo de energia dos nós sensores, agregando-o à unidade de protocolo (HACBA). Sobre o HACBA, seria importante considerar a criação de nó sensor em plataformas virtuais usando a descrição de *hardware*, como a linguagem *SystemC*, e a aplicação de IA para aumentar a autonomia dos nós sensores e otimização de energia (por exemplo, o uso de algoritmos genéticos para estabelecer rotas de acesso entre os nós sensores em caso de comunicação ou falha de operação).

Uma abordagem importante para trabalhos futuros consiste na validação da parte do arcabouço já implementada, que poderá ser realizada por meio da sua aplicação a uma RSSF que esteja em construção. Neste tema, abre-se a perspectiva de integração com outras áreas de conhecimento e de aplicação de RSSF, como, por exemplo, meio

ambiente.

Ainda na linha de validação do arcabouço, cumpre destacar o interesse de que o ADRIX venha a ser disponibilizado via internet em português e inglês, a fim de difundir sua utilização. Essa ação é facilitada pelo fato de que seu desenvolvimento foi realizado em plataforma Java voltada para a *web*.

Por fim, considera-se que a implementação completa da arquitetura do ADRIX é por si só uma atividade que apresenta grande potencial de desenvolvimento, pois requer o envolvimento de profissionais de diferentes áreas, desde eletrônica até a computação, incluindo também especialistas/usuários das diversas áreas de aplicação de RSSF. Adicionalmente, a implementação do ADRIX pode proporcionar a integração de trabalhos desenvolvidos em temas específicos de RSSF de vários grupos de pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Dargie, W. e Poellabauer, C. (2010). *Fundamentals of wireless sensor networks, theory and practice*, John Wiley Publishing Company, 4 ed., Chichester, Inglaterra.
- [2] Akyildiz, I. F. e Vuran, M. C. (2010). *Wireless sensor networks*. John Wiley Publishing Company, 1 ed., Chichester, Inglaterra.
- [3] Wang, Q. e Balasingham, I. (2010). Wireless sensor networks - an introduction. In: Merret, G.V. e Tan, Y.K. (eds.) *Wireless sensor networks: application - Centric Design*, InTech, Rijeka, Croácia.
- [4] Shrotriya, A. e Nitnawwre, D. (2012). Energy efficient modeling of wireless sensor networks based on different modulation schemes using QualNet. In: *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 1(3), 171-174.
- [5] Parthasarathy, R., Peterson, N., Song, W.Z. e Shirazi, A.H.B.A. (2010). Over the air programming on Imote2-based sensor networks. In: *Proceedings of the 43rd Hawaii International Conference on System Sciences*, Kauai, EUA.
- [6] Sashima, A., Inoue, Y., Ikeda, T., Yamashita, T. e Kurumatani, K. (2008). CONSORTS-S: a mobile sensing platform for context-aware service. In: *Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)*. Japão, 417-422.
- [7] Hu, P., Chong, S.K., Indulska, J. e Krishnaswamy, S. (2010). Context-aware and resource efficient sensing infrastructure for context-aware applications. In: *8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops)*. Austrália, 492-498.
- [8] Wightman, P.M e Labrador, M.A. (2009). Topology maintenance: extending the lifetime of wireless sensor networks. In: *Proceedings of IEEE Latin-American Conference on Communication, Networking and Broadcasting*, Medelin, Colômbia.
- [9] De, D., Song, W.Z., Tang, S. e Cook, D. (2012). EAR: an energy and activity-aware routing protocol for wireless sensor networks in smart environments. *The Computer Journal*, 55(12), 1492-1506.

- [10] Jahanshahi, M., Dehghan, M.e Meybodi, M.R. (2013). LAMR: learning automata based multicast routing protocol for multi-channel multi-radio wireless mesh networks. *Applied Intelligence*, 38, 58-77.
- [11] Zheng, J. e Jamalipour, A. (2009). *Wireless sensor networks: a networking perspective*, John Wiley Publishing Company, New Jersey, EUA.
- [12] Lee, S. H. et al (2009). Wireless sensor network design for tactical military applications: remote large-scale environments. In: *IEEE Conference on Military Communications (MILCOM)*. EUA, 1-7.
- [13] Corke, P., Wark, T., Jurdak, R., Hu, W., Valencia, P. e Moore, D. (2010). Environmental wireless sensor networks. In: *Proceedings of the IEEE*, 98(11), 1903-1917.
- [14] Ruiz-Garcia, L., Lunadei, L., Barreiro, P. e Robia, J.I. (2009). A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: state of the art and current trends. *Sensors*, 9(6), 4728-4750.
- [15] Hwang, J., Shin, C. e Yoe, H. (2010). Study on an agricultural environment monitoring server system using wireless sensor networks. *Sensors*, 10, 11189-11211.
- [16] Lou, E., Hill, D.L. e Raso, J. V. (2010). A wireless sensor network system to determine biomechanics of spinal braces during daily living. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 48(3), 235-243.
- [17] Xu, Y. e Lee, W.C. (2007). Compressing moving object trajectory in wireless sensor networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 3(2), 151-174.
- [18] Sleman, A. e Moeller, R. (2008). Integration of wireless sensor network services into other home and industrial networks using device profile for web services (DPWS). In: *The 3rd International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications (ICTTA)*, Damasco, Síria.
- [19] Assous, N., Lebedev, N., Daviot, R. e Abouchi, N. (2009). Wireless sensors for instrumented machines: propagation study for stationary industrial environments. In: *IEEE Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*, Pisa, Itália.
- [20] Yao, Y., Tang, X. e Lim, E.P. (2009). Localized monitoring of kNN queries in wireless sensor Networks. *The VLDB Journal*, 18(1), 99-117.

- [21] Chen, K., Qin, Y., Fan, J. e Tang, Z. (2006). A probabilistic energy-efficient routing (PEER) scheme for ad-hoc sensor networks. In: *Proceedings of the 3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks (SECON)*. EUA, 3, 964-970.
- [22] Loureiro, A. A.F., Nogueira, J.M.S., Ruiz, L.B., Mini, R.A.F., Nakamura, E.F. e Figueiredo, C.M.S. (2003). Minicurso de redes sensores sem fio. In: *XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBR'C)*, Rio Grande do Norte, Brasil, cap. 4, 179-226.
- [23] Corson, M., Macker, J. e Cirincione, G. (1999). Internet-based mobile ad hoc networking. *IEEE Internet Computing*, 3(4), 63-70.
- [24] Yong-Min, L., Shu-Ci, W. e Xiao-Hong, N. (2009). The architecture and characteristics of wireless sensor network. In: *International Conference on Computer Technology and Development (ICCTD)*. Malásia, 561-565p.
- [25] Ruiz, L. B., Nogueira, J. M. S. e Loureiro, A. A. (2003). MANNA: a management architecture for wireless sensor network. *IEEE Communications Magazine*, 41 (2), 116-125.
- [26] Doolin, D. M. (2005). Wireless sensors for wildfire monitoring. In: *SPIE Symposium on Smart Structures and Materials*. EUA, 477-484.
- [27] Vieira, M.A.M., Coelho Jr, C.N., Silva Junior, D.C., e Mata, J.M. (2003). Survey on wireless sensor network devices. In: *Proceedings of IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*. Portugal, 1, 537-544.
- [28] Johnson, M., Healy, M., de Ven, P.V., Hayes, M.J., Nelson, J., Newe, T. e Lewis, E. (2009). A comparative review of wireless sensor network mote technologies. *IEEE Sensors 2009*, 2009, 1439-1442.
- [29] Lync, C. e O'Reilly, F. (2005). Processor choice for wireless sensor networks. In: *1st European Workshop on Real World Wireless Sensor Networks (REALWSN)*, Estocolmo, Suécia.
- [30] Healy, M., Newe, T. e Lewis, E. (2008). Wireless sensor node hardware: a review. *IEEE Sensors 2008*, 2008, 621-624.
- [31] Hu, W., Bulusu, N., Chou, C. T., Jha, S., Taylor, A. e Tran, V. N. (2009). Design and evaluation of a hybrid sensor network for cane toad monitoring. In: *ACM Transactions on Sensor Networks*, 5, 1, 1-28.

- [32] Hu, F. e Cao, X. (2010). *Wireless sensor networks: principles and practice*, CRC Press, EUA.
- [33] *Datasheet CC1000* (Texas Instruments). Disponível em: <http://www.ti.com/lit/ug/swru058/swru058.pdf>. Acessado em: 22 out. 2012.
- [34] *Datasheet CC2420* (Texas Instruments). Disponível em: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2420.pdf>. Acessado em: 22 out. 2012.
- [35] *Datasheet MSP430* (Texas Instruments). Disponível em: <http://www.ti.com>. Acessado em: 22 out. 2012.
- [36] *Datasheet ARM920T* (ATMEL). Disponível em: <http://www.atmel.com/Images/doc1768.pdf>. Acessado em: 22 out. 2012.
- [37] *Datasheet IntelPXA271* (Intel). Disponível em: <http://int.xscale-freak.com/XSDoc/PXA27X/28000304.pdf>. Acessado em: 22 out. 2012.
- [38] Mendonça, A. e Zelenovsky, R. (2007). *Eletrônica digital, curso prático e exercícios*, MZ Editora Ltda., 2 ed., Brasília.
- [39] Zheng, X. e Cai, Y. (2009). Achieving energy proportionality in server clusters. *International Journal of Computer Networks*, 1(2), 21-35.
- [40] Imran, M., Said, A. M. e Hasbullah, H. (2010). A survey of simulators, emulators and testbeds for wireless sensor networks. In: *Symposium in Information Technology (ITSim)*. Malásia, 2, 897-902.
- [41] Sobeih, A. Chen, W.P., Hou, J.C., Kung, L.C., Li, N., Lim, H., Tyan, H.Y. e Zhang, H. (2005). J-sim: A simulation and emulation environment for wireless sensor networks. *IEEE Wireless Communications Magazine*, 13 (4), 104-119.
- [42] Becker, M., Timm-Giel, A., Murray, K., Lynch, C., Görg, C. e Pesch, D. (2008). Comparative simulations of WSN. In: *ICT-MobileSummit*, Santander, Espanha.
- [43] *INET Framework*. Disponível em: <http://inet.omnetpp.org>. Acessado em: 24 nov. 2011.
- [44] *Mobility Framework*. Disponível em: <http://mobility-fw.sourceforge.net/manual/index.html>. Acessado em: 24 de nov. 2011.
- [45] Luger, G.F. e Stubblefield, W.A. (1997). *Artificial intelligence: structures and strategies for complex problem solving*, Addison-Wesley Longman, Boston, EUA.

- [46] Russell, S. e Norvig, P. (2003). *Artificial intelligence: a modern approach*, Prentice Hall, 2.ed., New Jersey, EUA.
- [47] Ang, J. K., Leong, S.B., Lee, C.F. e Yusof, U.K. (2011). Requirement engineering techniques in developing expert systems. In: *IEEE Symposium on Computers and Informatics (ISCI)*. Malásia, 640-645.
- [48] Michalewicz, Z. e Fogel, D.B. (2000). *How to solve it: modern heuristics*, Springer-Verlag Publishing, Berlim, Alemanha.
- [49] Vanderplaats, G.N. (1998). *Numerical optimization techniques for engineering design*, Vanderplaats Research and Development, Colorado Springs, EUA.
- [50] Wolpert, D.H. e Macready, W.G. (1995). *No free lunch theorems for search*, SFI-TR-95-02-010, Santa Fe Institute Technical Report, Santa Fé, EUA.
- [51] Eldred, M.S. (1998). *Optimization strategies for complex engineering applications*, SANDIA Report - SAND98-0340 - UC-705, Sandia National Laboratories, Albuquerque, EUA.
- [52] Ferentinos, K. P. e Tsiligiridis, T. A. (2007). Adaptive design optimization of wireless sensor networks using genetic algorithms. *Computer Networks*, 51(4), 1031-1051.
- [53] Kumar, S. S., Kumar, M. N. e Sheeba, V. S. (2011). Fuzzy logic based energy efficient hierarchical clustering in wireless sensor networks. *International Journal of Research and Reviews in Wireless Sensor Networks (IJRRWSN)*, 1(4), 53-57.
- [54] Hosseingholizadeh, A. e Abhari, A. (2009). A neural network approach for wireless sensor network power management. In: *28th IEEE International Symposium on Reliable Distributed Systems*, Niagara Falls, EUA.
- [55] Rahman, M.S., Park, Y. e Kim, K.D. (2009). Localization of wireless sensor network using artificial neural network. In: *The 9th International Symposium on Communications and Information Technology (ISCIT)*. Coréia, 639-642.
- [56] Yang, G., Yi, Z., Tianquan, N., Keke, Y. e Tongtong, X. (2010). An improved genetic algorithm for wireless sensor networks localization. In: *IEEE 5th International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories and Applications (BIC-TA)*. China, 439-443.

- [57] Meng, H.L.L. (2008). Reconstruction mechanism based on distributed intelligent agents for network management. In: *The 7th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*. China, 5143-5147.
- [58] Yun, S., Lee, J., Chung, W., Kim, E., e Kim, S. (2009). A soft computing approach to localization in wireless sensor networks. *Expert Systems with Applications*, 36(4), 7552-7561.
- [59] Bilal, K. e Mohsin, S. (2012). Muhadith: a cloud based distributed expert system for classification of Ahadith. In: *The 5th International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT)*. Mongólia, 73-78.
- [60] Waterman, D.A. (1986). *A guide to expert system*, Addison-Wesley Publishing Company, Boston, EUA.
- [61] Caetano, K.C, Peres, H.H.C. e Fugulin, F.M.T. (2007). An expert system prototype for the classification of the complexity of the assistance in nursing. *Online Brazilian Journal of Nursing*, 6(1).
- [62] Mendes, R.D. (1997). Inteligência Artificial: sistemas especialistas no gerenciamento da informação. *Ciência da Informação*, 26(1).
- [63] Bittencourt, G. (2006). *Inteligência Artificial Ferramentas e Teorias*, Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 3.ed., Florianópolis.
- [64] Durfee, E. H. e Rosenschein, J.S. (1994). Distributed problem solving and multiagent systems: comparisons and examples. In: *The International Workshop on Distributed Artificial Intelligence*. EUA, 94-104p.
- [65] Wooldridge, M. (2009). *An introduction to multiagent systems*, John Wiley and Sons Limited, 2.ed., Chichester, Inglaterra.
- [66] Bellifemine, F. L., Giovanni, C. e Greenwood, D. (2007). *Developing multi-agent systems with JADE*, John Wiley and Sons Limited, 1.ed., Chichester, Inglaterra.
- [67] Tapia, D. I., Prieta, F., González, S.R., Bajo, J. e Corchado, J.M. (2011). Organizations of agents in information fusion environments. In: *The 15th Portuguese Conference on Progress in Artificial Intelligence (EPIA)*. Portugal, 59-70.
- [68] Chen, M., Kwon, T., Yuan, Y., Choi, Y. e Leung, V.C.M. (2007). Mobile agent-based directed diffusion in wireless sensor networks. *Journal EURASIP on Applied Signal Processing*, 2007(1), 219-231.

- [69] Wu, Y. e Cheng, L. (2009). A study of mobile agent tree routes for data fusion in WSN. In: *International Conference on Communications and Mobile Computing*. China, 2, 57-60.
- [70] Alkhateeb, F., Maghayreh, E.A. e Aljawarneh, S. (2010). A multi agent-based system for securing university campus: design and architecture. In: *The International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS)*. Inglaterra, 75-79.
- [71] Orhan, D. (2011). A survey of agent technologies for wireless sensor networks. *IETE Technical Review*, 28(2), 168-184.
- [72] Sidek, O., Quadri, S. A. e Kabir, S. (2011). Multi agent system for agile wireless sensor network to monitor structures. In: *Progress in Electromagnetics Research Symposium Proceedings*. Marrocos, 765-770.
- [73] Wu, J., Yuan, S., Ji, S., Zhou, G., Wang, Y. e Wang, Z. (2010). Multi-agent system design and evaluation for collaborative WSN in large SHM. *Expert Systems with Applications*, 37 (3), 2028-2036.
- [74] Liu, X., Cao, J.N., Bhuiyan, M.Z.A., Lai, S., Wu, H. e Wang, G. (2011). Fault tolerant WSN-based structural health monitoring. In: *IEEE/IFIP 41st International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN)*. China, 37-48.
- [75] Forman, R.T.T., Sperling, D., Bissonette, J.A., Clevenger, A.P., Cutshall, C.D., Dale, V.H., Fahrig, L., France, R., Goldman, C.R., Heanue, K., Jones, J.A., Swanson, F.J., Turrentine, T. e Winter, T. C. (2003). *Road ecology. science and solutions*, Island Press, Washington, EUA.
- [76] Batista, A.C. (2004). Detecção de incêndios florestais por satélite. *Revista Floresta*, 34 (2), 237-241.
- [77] Pessin, G. (2007). Utilizando redes neurais artificiais no controle de robôs móveis aplicados ao combate de incêndios florestais. In: *Anais do XVI Seminário de Computação (SEMINCO)*. Brasil, 10-30.
- [78] Mal-Sarkar, S., Sikder, I.U. e Konangi, V.K. (2010). Application of wireless sensor networks in forest fire detection under uncertainty. In: *Proceedings of 13th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT 2010)*, Dhaka, Bangladesh.

- [79] Son, B., Her, Y.S., e Kim, J.G. (2006). A design and implementation of forest-fires surveillance system based on wireless sensor networks for South Korea mountains. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 6(9B), 124-130.
- [80] Wang, G., Zhang, J., Li, W., Cui, D. e Jing, Y. (2010). A forest fire monitoring system based on GPRS and ZigBee wireless sensor network. In: *5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*. Taiwan, 1859-1862.
- [81] Bayo, A., Antolín, D., Medrano, N., Calvo, B. e Celma, S. (2010). Development of a wireless sensor network system for early forest fire detection. In: *Workshop on Smart Objects: Systems, Technologies and Applications. RFID SysTech 2010. European Workshop on Smart Objects: Systems, Technologies and Applications*, Universidade Castilla-La Mancha, Ciudad, Espanha.
- [82] Zhu, Y., Xie, L. e Yuan, T. (2012). Monitoring system for forest fire based on wireless sensor network. In: *Proceedings of the 10th World Congress on Intelligent Control and Automation*. China, 4245-4248.
- [83] Prashanth, A. and Babu, A. (2012). Forest fire prevention using wireless sensor networks. In: *International Journal of Computer Technology and Applications*, 3(1), 374-377.
- [84] Hartung, C., Han, R., Seielstad, C. e Holbrook, S. (2006). FireWxNet: a mult-tiered portable wireless system for monitoring weather conditions in wildland fire environments. In: *Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys)*, Uppsala, Suécia.
- [85] Stipanicev, D., Vuko, T. e Bodrozic, L. (2007). Location determination of automatic forest fire monitoring stations based on AHP and GIS data. In: *The 14th International Emergency Management Society (TIEMS)*, Trogir, Croácia.
- [86] Lloret, J., Garcia, M., Bri, D. e Sendra, S. (2009). A wireless sensor network deployment for rural and forest fire detection and verification. *Sensors*, 9, 8722-8747.
- [87] Tsiorlis, G., Andreadakis, S. e Konstantinidis, P. (2009). SITHON: a wireless network of in situ optical cameras applied to the early detection-notification-monitoring of forest fires. *Sensors*, 9, 4465-4482.
- [88] Stipanicev, D., Stula, M., Krstinic, D. e Seric, L. (2009). Agent based intelligent forest fire monitoring system. In: *Proceedings of the 29th International Conference on Telecommunications and Information (MIPRO)*. Croácia, 258-263.

- [89] Santos, R. A. L., Figueiredo, A.P. e Guilam, C.M. (2011). Definição dos pontos críticos de atropelamento de fauna silvestre em cinco unidades de conservação no Distrito Federal. In: *Anais do II Congresso Brasileiro de Ecologia de Estradas*. Lavras, 113-127.
- [90] Bager, A. e Rosa, C.A. (2010). Priority ranking of road sites for mitigating wildlife roadkill. *Biota Neotropica*, 10(4), 149-154.
- [91] Laurance, W. F., Goosem, M. e Laurance, S.G.W. (2009). Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends in Ecology and Evolution*, 24(12), 659-669.
- [92] Beckmann, J. P., Clevenger, A.P., Huijser, M.P. e Hilty, J.A. (2010). *Safe passages: highways, wildlife, and habitat connectivity*, Island Press, 1.ed., Washington, EUA.
- [93] Huijser, M.P., Duffield, J.W., Clevenger, A.P., Ament, R.J. e McGowen, P.T. (2009). Cost-benefit analyses of mitigation measures aimed at reducing collisions with large ungulates in the United States and Canada: a decision support tool. *Ecology and Society*, 14(2), 15.
- [94] Sahin, Y.G. (2007). Animals as mobile biological sensors for forest fire detection. In: *Sensors*, 7, 3084-3099.
- [95] Garcia-Sanchez, A.J., Garcia-Sanchez, F., Losilla, F., Kulakowski, P., Garcia-Haro, J. Rodríguez, A., López-Bao, J.V e Palomares, F. (2010). Wireless sensor network deployment for monitoring wildlife passages. *Sensors*, 10, 7236-7262.
- [96] Rutishauser, M., Petkov, V., Boice, J., Obraczka, K., Mantley, P., Williams, T.M. e Wilmers, C.C. (2011). CARNIVORE: a disruption-tolerant system for studying wildlife. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2011, 10, ID 968046.
- [97] Huang, J.H., Chen, Y.Y., Huang, Y.T., Lin, P.Y., Chen, Y.C., Lin, Y.F., Yen, S.C., Huang, P. e Chen, L.J. (2010). Rapid prototyping for wildlife and ecological monitoring. *Systems Journal*, 4(2), 198-209.
- [98] Handcock, R.N., Swain, D.L., Bishop-Hurley, G.J., Patison, K.P., Wark, T., Valencia, P., Corke, P., e O'Neill, C.J. (2009). Monitoring animal behaviour and environmental interactions using wireless sensor networks, GPS collars and satellite remote sensing. *Sensors*, 9, 3586-3603.
- [99] Sommerville, I. (2011). *Engenharia de software*, Pearson Education - BR, 9 ed., São Paulo, Brasil.

- [100] Pressman, R. S. (2006). *Engenharia de software*, McGraw-HILL, 6 ed., Rio de Janeiro, Brasil.
- [101] Liu, X. e Mohapatra, P. (2005). On the deployment of wireless sensor nodes. In: *The 3rd International Workshop on Measurement, Modeling, and Performance Analysis of Wireless Sensor Networks (SenMetrics), in conjunction with the Second Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, (MobiQuitous)*. EUA, 78-85.
- [102] Li, J., Bai, Y., Ma, J., Tian, Y. e Qian, D. (2006). POWER: planning and deployment platform for wireless sensor networks. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Grid and Cooperative Computing Workshops (GCCW06)*. China, 432-436.
- [103] Dix, A., Finlay, J., Abowd, G. e Beale, R. (1993). *Human-computer interaction*, Prentice Hall International Limited, Harlow, Inglaterra.
- [104] Salvador, F., Forza, C. e Rungtusanatham, M. (2002). Modularity, product variety, production volume, and component sourcing: theorizing beyond generic prescriptions. *Journal of Operations Management*, 20(5), 549-575.
- [105] Li, J., Andrew, L.L.H., Foh, C.H., Zukerman, M. e Chen, H.H. (2009). Connectivity, coverage and placement in wireless sensor networks. *Sensors*, 9, 7664-7693.
- [106] Zhu, C., Zheng, C., Shu, L. e Han, G. (2012). A survey on coverage and connectivity issues in wireless sensor networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 35, 619-632.
- [107] Wang, B. (2011). Coverage problems in sensor networks: a survey. *ACM Computing Surveys*, 43, 4, ID 32.
- [108] Held, G. e Marshall, T. R. (1996). *Data and image compression: tools and techniques*, John Wiley and Sons, Inc., New York, EUA.
- [109] Sundaresan, M. (2012). Image compression using H.264 and deflate algorithm. In: *1st International Conference on Pattern Recognition, Informatics and Medical Engineering (PRIME)*, Tamilnadu, Índia.
- [110] Hu, F. e Sharma, N. K. (2005). Security considerations in wireless sensor networks. *Ad Hoc Networks*, 3(1), 69-89.
- [111] Mukherjee, N. (2010). A dynamic cryptographic algorithm to provide nodal level security in wireless sensor network. In: *International Conference on Innovative*

*Computing and Communication and 2010 Asia-Pacific Conference on Information Technology and Ocean Engineering*, Macao, China.

[112]

- [112] Chen, D. e Varshney, P. K. (2004). QoS support in wireless sensor networks: a survey. In: *Proceedings of the International Conference on Wireless Networks (ICWN)*. EUA, 21 -24.
- [113] Yigitel, M.A., Incel, O.D. e Ersoy, C. (2011). QoS-aware MAC protocols for wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, 55(8), 1982-2004.
- [114] Liu, C.H., Bisdikian, C., Branch, J.W. e Leung, K.K. (2010). QoI-aware wireless sensor network management for dynamic multi-task operations. In: *Proceedings of the 7th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON)*, Boston, EUA.
- [115] Liu, C.H., Hui, P., Branch, J.W. e Yang, B. (2011). QoI-Aware Energy Management for Wireless Sensor Networks. In: *The 3rd International Workshop on Information Quality and Quality of Service for Pervasive Computing*, Seattle, EUA.
- [116] Liu, X., Cao, J., Bhuiyan, M., Lai, S., Wu, H. e Wang, G. (2011). Fault tolerant WSN-based structural health monitoring. In: *Proceedings of the 2011 IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN 2011)*, Hong Kong, China.
- [117] Liu, Y., Zhang, W. e Akkaya, K. (2010). Static worst-case energy and lifetime estimation of wireless sensor networks. *Journal of Computing Science and Engineering*, 4(2), 128-152.
- [118] Lozneanu, D., Pana, G. e Miron, E.L. (2011). Energy model of sensor nodes in WSN. *Review of the Air Force Academy*, 19(2), 33-38.
- [119] Shinghal, K., Noor, A., Srivastava, N. e Singh, R. (2011). Power measurements of wireless sensor networks node. *International Journal of Computer Engineering and Science*, 1(1), 8-13.
- [120] Lu, J., Lu, D. e Huang, X. (2010). Channel model for wireless sensor networks in forest scenario. In: *2nd International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*, Wuhan, China.
- [121] Sala, A.M., Pardo, J.M.M.G., Lopez, E.E., Alonso, J.V., Llacer, L.J. e Haro, J.G. (2005). An accurate radio channel model for wireless sensor networks simulation. *Journal of Communications and Networks*, 7(4), 1-7.

- [122] Neves, A.R., Zoby, L.T.M., Ralha, C.G. e Jacobi, R.P. (2010). Prototype for indoor localization based on multiagent system. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent and Advanced Systems(ICIAS)*. Malásia, 14-17.
- [123] Neves, A.R., Zoby, L.T.M., Ralha, C.G. e Jacobi, R.P. (2010). Localização de usuários em ambiente interno utilizando abordagem de sistema multiagente. *Revista Brasileira de Sistemas de Informação (iSys)*, 3.
- [124] Vijay, G., Bdira, E.B.A. e Ibnkahla, M. (2011). Cognition in wireless sensor networks: a perspective. In: *IEEE Sensors Journal*, 11(3), 582-592.
- [125] Jurdak, R., Wang, X. R., Obst, O. e Valencia, P. (2011). Wireless sensor network anomalies: diagnosis and detection strategies. Tolk, A. e Jain, L. (eds) *Intelligence-based Systems Engineering*, Springer, Berlim.
- [126] Jong, A. (2009). *Evaluating model-based diagnosis for wireless sensor networks*, Dissertação de Mestrado, Delft University of Technology, Holanda, 42 p.
- [127] Ren, W., Xu,L., Deng, Z. (2008). Fault Diagnosis Model of WSN Based on Rough Set and Neural Network Ensemble. In: *Second International Symposium on Intelligent Information Technology Application (IITA)*. Shanghai, China, 540-543.
- [128] Cheesman, J. e Daniels, J. (2001). *UML components - a simple process for specifying component-based software*, Addison-Wesley, Boston, EUA.
- [129] PostgreSQL Global Development Group (2013). Disponível em: <http://www.postgresql.org/>. Acessado em: 17 set. 2012.
- [130] Broemmer, D. (2002). *J2EE best practices java design patterns,performance*. John Wiley Publishing Company, 1 ed., Chichester, Inglaterra.
- [131] Alur, D., Crupi, J. e Malks, D. (2004). *Core J2ee Patterns*. CAMPUS, 1 ed., Rio de Janeiro, Brasil.
- [132] Hibernate (2012). Disponível em: <http://hibernate.org>. Acessado em: 16 ago. 2012.
- [133] Ramos, M. V. M., Neto, J. J. e Vega, I. S. (2009). *Linguagens formais - teoria, modelagem e implementação*, Bookman, 1 ed., Porto Alegre, Brasil.
- [134] Datasheet RMT TR1000 (RMT). Disponível em: <http://www.rfm.com/products/data/tr1000.pdf>. Acessado em: 22 out. 2012.

- [135] *Datasheet* ATmel ATRF230 (ATmel). Disponível em: <http://www.atmel.com/devices/at86rf230.aspx>. Acessado em: 22 out. 2012.
- [136] *Datasheet* Atmega 103L (ATmel). Disponível em:<http://www.atmel.com/Images/doc0945.pdf>. Acessado em: 22 out. 2012.
- [137] *Datasheet* Atmega 128L (ATmel). Disponível em:<http://www.atmel.com/Images/doc2467.pdf>. Acessado em: 22 out. 2012.
- [138] *Datasheet* TI MSP430F1611 (Texas Instruments). Disponível em:<http://www.ti.com/product/msp430f1611>. Acessado em: 22 out. 2012.
- [139] *Datasheet* XM2110CB (MEMSIC). Disponível em: [www.memsic.com.php5-12.dfw1-1.websitetestlink.com](http://www.memsic.com.php5-12.dfw1-1.websitetestlink.com). Acessado em: 22 out. 2012.
- [140] *Datasheet* MPR400 (Crossbow Technology). Disponível em: <http://www.datasheetarchive.com/MPR400-datasheet.html>. Acessado em: 22 out. 2012.
- [141] *Datasheet* Telos. Disponível em:<http://moss.csc.ncsu.edu/~mueller/rt/rt11/readings/projects/g>. Acessado em: 22 out. 2012.
- [142] *Datasheet* TelosB/TmoteSky (Crossbow Technology). Disponível em: [http://www.willow.co.uk/TelosB\\_Datasheet.pdf](http://www.willow.co.uk/TelosB_Datasheet.pdf). Acessado em: 22 out. 2012.
- [143] *Datasheet* MicaZ (Crossbow Technology). Disponível em: [http://www.openautomation.net/uploadsproductos/micaz\\_datasheet.pdf](http://www.openautomation.net/uploadsproductos/micaz_datasheet.pdf). Acessado em: 22 out. 2012.
- [144] *Datasheet* Mica2 (Crossbow Technology). Disponível em: [http://bullseye.xbow.com:81/Products/Product\\_pdf\\_files/Wireless\\_pdf/MICA2\\_Datasheet.pdf](http://bullseye.xbow.com:81/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/MICA2_Datasheet.pdf). Acessado em: 22 out. 2012.
- [145] *Datasheet* iMote2 (Crossbow Technology). Disponível em:[http://bullseye.xbow.com:81/Products/Product\\_pdf\\_files/Wireless\\_pdf/Imote2\\_Datasheet.pdf](http://bullseye.xbow.com:81/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/Imote2_Datasheet.pdf). Acessado em: 22 out. 2012.
- [146] *Datasheet* Sun Spot (Sun Oracle). Disponível em: <http://www.sunspotworld.com/docs/Yellow/eSPOT8ds.pdf>. Acessado em: 22 out. 2012.
- [147] *Datasheet* SHIMMER. Disponível em: <http://www.shimmer-research.com/wp-content/uploads/2011/05/Shimmer-Platform.pdf>. Acessado em: 22 out. 2012.

- [148] *Datasheet IRIS*. Disponível em: [http://www.dinesgroup.org/projects/images/pdf\\_files/iris\\_datasheet.pdf](http://www.dinesgroup.org/projects/images/pdf_files/iris_datasheet.pdf). Acessado em: 22 out. 2012.
- [149] Lloret, J., Bosch, I., Sendra, S. e Serrano, A. (2011). A wireless sensor network for vineyard monitoring that uses image processing. *Sensors*, 11, 6165-6196.
- [150] Kays, R., Kranstauber, B., Jansen, P.A., Carbone, C., Rowcliffe, M. Fountain, T. e Tilak, S. (2009). Camera traps as sensor networks for monitoring animal communities. *International Journal of Research and Reviews in Wireless Sensor Networks*, 1(2), 19-29.
- [151] Bahrepour, M., Meratnia, N. e Havinga, P. (2008). Automatic fire detection: a survey from wireless sensor network perspective, In: *Technical Report TR-CTIT-08-73, Centre for Telematics and Information Technology University of Twente*, Enschede, Holanda.
- [152] Tsukamoto, K., Ueda, H., Tamura, H., Kawahara, K. e Oie, Y. (2009). Deployment design of wireless sensor network for simple multi-point surveillance of a moving target. *Sensors*, 9, 3563-3585.
- [153] *Java Agente DEvelopment Framework (JADE)* (2012). Disponível em: <http://jade.tilab.com/>. Acessado em: 17 nov. 2011.
- [154] *Oracle*. Disponível em: <http://www.oracle.com>. Acessado em: 12 jun. 2012.
- [155] *MATrix LABoratory (MATLAB)*. Disponível em: <http://www.mathworks.com/products/matlab>. Acessado em: 17 nov. 2011.
- [156] Linn, R.R., Reisner, J.N., Colman, J.J. e Winterkamp, J.L. (2002). Studying wildfire behavior using FIRETEC. *International Journal of Wildland Fire*, 11(4), 233-246.
- [157] Singh, S.K., Singh, M.P. e Singh, D.K. (2010). Routing protocols in wireless sensor networks - a survey. *International Journal of Computer Science and Engineering Survey (IJCSES)*, 2(1), 49-61.
- [158] Zoby, L.T.M., Carvalho, M.P., Costa, J.C. e Ruiz, L.B. (2013). HACBA: new approach to hierarchical routing for wireless sensor network. *International Journal of Computer Applications*, 64(20), 38-42.
- [159] Heinzelman, W., Chandrakasan, A. e Balakrishnan, H. (2002). An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 1(4), 660-670.

- [160] Bhatti, S. e Xu, J. (2009). Survey of target tracking protocols using wireless sensor network. In: *5th International Conference on Wireless and Mobile Communications*, Cannes, França.
- [161] Abdelkader, M., Hamdi, M. e Boudriga, N. (2008). Voronoi-based sensor network engineering for target tracking using wireless sensor networks. In: *2nd International Conference on New Technologies, Mobility and Security*, Tangier, Marrocos.
- [162] Pavai, K., Sivagami, A., e Sridharan, D. (2009). Study of routing protocols in wireless sensor networks. In: *International Conference on Advances in Computing, Control, and Telecommunication Technologies*. Índia, 522-525.
- [163] Stemm, M. e Katz, R. H. (1997). Measuring and reducing energy consumption of network interfaces in handheld devices. *IEICE Transaction on Communications*, E80-B, 8, 1125-1131.
- [164] Bahl, P. e Padmanabhan, V.N. (2000). Radar: a in-building rf-based user location and tracking system. In: *Proceedings of 9th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM'OO)*. Israel, 2, 775-784.
- [165] Doherty, L., Pister, K. S., e L. E. Ghaoui. (2001). Convex position estimation in wireless sensor networks. *International Journal of Computer Science and Engineering Survey (IJCSES)*, 1(2), 1655-1663.
- [166] Bruck, J., Gao, J. e Jiang, A. A. (2009). Localization and routing in sensor networks by local angle information. *Journal ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 5(1), 1-31.
- [167] Pahlavan, K. e Levesque, A. (2005). *Wireless Information Networks*. John Wiley Publishing Company, 2 ed., Chichester, Inglaterra.

## **APÊNDICES**

## **APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO**

Questionário sobre o Projeto de Aplicações para Redes de Sensores Sem Fio realizados

### 1. Abrangência espacial da área a ser monitorada

Qual é a abrangência espacial da área a ser monitorada?

Dentro desse ambiente, pode-se desejar monitorar eventos em:

(a) 2D

(b) 3D

Em uma dada dimensão pode-se ter uma área:

(c) regular

i. círculo/esfera

ii. retângulo/paralelograma

iii. quadrado/cubo

(d) irregular

Qual a área regular é possível aproxima-la?

i. círculo/esfera

ii. retângulo/paralelograma

iii. quadrado/cubo

### 2. Tamanho da área a ser monitorada

Quais as dimensões área?

Dentro desse ambiente, pode-se desejar monitorar eventos em:

(a) Para círculo/ esfera: Qual o raio (em metros)?

(b) Para retângulo/paralelograma: Qual a base (em metros)? / Qual a altura (em metros)?

(c) Para quadrado/cubo: Qual lado (em metros)?

### 3. Tipos de sensores

Que tipo de sensores serão necessários para o monitoramento do ambiente?

(a) Acelerômetro

(b) Agentes Químicos

(c) Áudio

(d) Campo magnético

(e) Extensômetro

- (f) Imagem
- (g) pH
- (h) Pluviométrica
- (i) Pressão
- (j) Pressão atmosférica
- (k) Temperatura do ambiente
- (l) Temperatura objeto
- (m) Tensão e corrente
- (n) Unidade do solo
- (o) Unidade relativa do ar
- (p) Velocidade do vento - anemômetro
- (q) Vídeo
- (r) Pressão atmosférica

4. Cobertura da área a ser monitorada

Qual a área de cobertura de sensoriamento?

Dentro desse ambiente, pode-se desejar monitorar eventos em:

- (a) Qual a área de cobertura de sensoriamento desejável (em porcentagem)?
- (b) Local de cobertura

5. Pontos de Coleta

Qual a distância entre os pontos de coleta (em metros)?

6. Tipo de ambiente a ser monitorado

Que tipo de ambiente será monitorado?

- (a) interno
  - i. com obstáculos
    - A. Gesso acartonado
    - B. Concreto
    - C. Madeira
    - D. Vidro
  - ii. sem obstáculos

- (a) externo
  - i. com obstáculos

- A. cidade
  - B. vegetação
    - mais densa
    - menos densa
  - C. chuva
- ii. sem obstáculos
    - A. solo
      - cidade
      - campo
    - B. ar
    - C. água
    - D. chuva

7. Localização da área a ser monitorada

Qual é localização geográfica?

- (a) Qual a latitude?
- (b) Qual a longitude?
- (c) Qual a altitude?

8. Tipos de dados coletados

Como é o tipo de dado coletado?

- (a) texto;
- (b) áudio;
- (c) vídeo;
- (d) imagem
  - i. monocromática
  - ii. colorida
    - baixa definição
    - alta definição

9. Frequência de coleta de dados

Qual é a frequência de coleta de dados?

- (a) X por hora
- (b) X por minuto
- (c) X por segundo

10. Taxa de transferência dos dados

Quais os valores da taxa de transferência dos dados?

11. Tamanho do pacote de dados

Qual é o tamanho do pacote de dados?

12. Tempo de vida da aplicação

Qual é o tempo de vida esperado da aplicação de monitoramento?

13. Taxa de amostragem?

Qual a taxa de amostragem?

14. Acesso à área a ser monitorada

Que restrição de acesso haverá à área monitorada?

(a) não é possível ter acesso

(b) é possível ter acesso

15. Deposição dos nós sensores na área a ser monitorada

Como será a deposição dos nós sensores na área a ser monitorada?

(a) determinística (lançados na área)

(b) não determinística (posição pré-definida)

16. Comportamento do fenômeno

Qual é o comportamento do fenômeno a ser monitorado?

O fenômeno a ser monitorado pode ter um comportamento:

(a) pontual: o evento ocorre numa posição geográfica específica. Por exemplo, uma pedra que cai no chão e permanece nesse local é um evento pontual

(b) pontual crescente: o evento ocorre numa posição geográfica mas cresce de forma definida ou não. Por exemplo, um foco de incêndio pode se espalhar em diferentes direções, de diferentes formas

(c) móvel: o evento se movimenta na área de sensoriamento. Por exemplo, o monitoramento de um pássaro

17. Capacidade de movimentação dos nós sensores e gateway

Numa RSSF, o nó sensor/gateway pode ser:

(a) estático: a posição geográfica do nó não muda depois de ser depositado

(b) móvel: o nó sensor/gateway pode se movimentar dentro da área de sensoriamento

## 18. Confiabilidade associada ao dado transmitido

Qual é a confiabilidade associada ao dado transmitido?

Uma vez que o nó sensor envia um dado, alguns cenários podem acontecer:

- O dado pode não chegar ao gateway
- O dado pode chegar duplicado ao gateway
- O dado pode ser entregue ao gateway fora de ordem
- O dado pode ser corrompido ao chegar ao gateway
- Os dados podem chegar com diferentes atrasos ao gateway

Assim, as seguintes questões devem ser respondidas para cada tipo de dado:

- (a) Perdas de dados são toleradas? Se sim, com que freqüência?
- (b) Dados podem ser duplicados? Se sim, o que fazer com os dados duplicados?
- (c) Dados podem chegar fora de ordem? Se sim, como devem ser processados?
- (d) Os dados representam valores sigilosos ou que não podem ser corrompidos e/ou alterados?
- (e) Dados têm validade temporal?
- (f) Dados podem chegar com diferentes atrasos?
- (g) Dados devem chegar com uma determinada freqüência?

## 19. Tipos de nós sensores da rede

Que tipos de nós sensores serão depositados na rede?

Os nós sensores da rede podem ser:

- (a) homogêneos: todos os nós têm as mesmas características de hardware e software
- (b) heterogêneos: diferentes nós têm diferentes características de hardware e software

## 20. Organização da rede

Como a rede será organizada?

Basicamente, a rede pode ser organizada de forma:

- (a) plana: não existe uma estrutura lógica
- (b) hierárquica: existe uma estrutura lógica

## APÊNDICE B - Especificações de hardware

Especificações cadastradas no banco de dados do arcabouço.

Plataforma	Processador	Transceptor
Mica (MPR300CA)	Atmel Atmega 103L	RFT TR 1000
Telos	TI MSP430	CC 2420
MicaZ	Atmel Atmega 128L	CC 2420
iMote2	Intel PXA 271 Xscale at 13 - 416 MHz	CC 2420
TelosB	TI MSP430	CC 2420
Sun Spot	ARM 920T	CC 2420
SHIMMER	MSP430F1611	CC 1000
IRIS	XM2110CB baseada em Atmel Atmega 1281	Atmel ATRF230
Mica2	MPR400 baseado em Atmel Atmega 128L	CC 1000
Mica2Dot	Atmel Atmega 128L	CC 1000

Figura 6.1: Plataformas Comerciais

Processador	Bits	Flash	RAM	SRAM	SDRAM	EEPROM	ADC (bits)	Clock	Timers	Veloc (MHz)	Tensão (V)	Bateria	Consumo (mA)			Tamanho	
													Ativo	Idle	Sleep		
Atmel Atmega103L		128	0	4	0		4	10	4	8	4	4,5-5,5	AA (2)	5,5	1,6	0,001	
Atmel Atmega128L		128	0	0	0		4	10	8	8	8	1,7 - 3,3 V	AA (2)	8		0,015	58 x 32 x 7 mm
Intel PXA 271 Xscale at 13 - 416 MHz		32768		256	32768	0	0	13		13			AAA (3)	44	44	0,39	36 x 48 x 9mm
TI MSP430	16	48	10				16	12	8	2	8	3	AA (2)	1,8		50,005	65x31x6mm
ARM 920T	32	2048	512				4		75	3	75	3,6	Lítio 650 mAh recarregável	n	n	n	10 x 10 x 1,2 mm
MSP430F1611	16	48	10					12	8	2	8	6,5	Lítio recarregável	0,33	0,001	0,002	1,75 x 8 x,5 pol
XM2110CB baseada em Atmel ATmega 1281		128 K bytes	8k bytes				4k bytes	10 bit - 8 canais @ 0-3V	8	8	0-8	2,7-3,3	AA (2)	8	n	0,008	58x32x7mm
MPR400 baseado em Atmel Atmega 128L		128 K bytes					4k bytes	11 bit - 8 canais @ 0-3V	8	8	0 - 8	2,7-3,4	AA (2)	8	n	0,001	58x32x7mm
Atmel Atmega 128L		128						10	4	8	0 - 8	2,7-5,5		8	n	0,001	

Figura 6.2: Especificações de microprocessadores

Transceptor	Frequência (MHz)	Taxa transmissã o (kbps)	Alcance-Indoor (m)	Alcance outdoor (m)	Sensibilidade (dBm)	Potencia de transm. (dBm)	Corrente modo recepçao (mA)	Corrente modo transmissão (mA)	Temp min (C)	Temp max ( C)
RFM TR1000	916	50			-91				-40	85
Chipcon CC2420	2400	250	20-30	75-100	-90 a -94	-24 a 0	19,7	17,4	-40	85
Atmel ATRF230	2400	250	50	300	-101	3	16	10	-40	85
Chipcon CC1000	900	153,6			-110	-110		-20 até 10	-40	85

Figura 6.3: Especificações de transceptores

## **APÊNDICE C - Questionário aplicado**

- Respostas referentes a aplicação ecologia do fogo
  1. 3D; irregular; quadrado
  2. 10
  3. Temperatura ambiente
  4. 0; Somente nas bordas da área
  5. -
  6. Externo; com obstáculos; vegetação; menos densa
  7. 0; 0; 0
  8. valores numéricos
  9. 2/hora
  10. 0; 0
  11. -
  12. -
  13. -
  14. É possível ter acesso
  15. Não determinística
  16. Pontual e móvel
  17. Estático
  18. -; sim; sim; não; sim; sim; sim
  19. heterogêneo
  20. hierárquica
- Respostas referentes a aplicação ecologia dos felinos
  1. 2D; irregular; retângulo
  2. total de 100m ao quadrado
  3. Imagem
  4. 0; Somente nas bordas da área
  5. 250
  6. Externo; com obstáculos; vegetação; menos densa

7. 0; 0; 0
8. imagem
9. 1/ dia
10. -
11. -
12. -
13. -
14. É possível ter acesso
15. Não determinística
16. Móvel
17. Estático
18. Sim; sim; sim; não; sim; sim; não
19. heterogêneo
20. plana