

## **RSFSURCA – UM PROTOCOLO DE REDE DE SENSORES SEM FIO PARA SOLUÇÃO APLICADA AO SISTEMA ELÉTRICO**

**A.L.C. Araújo**

Instituto de Telemática – CEFET-CE  
Av. Treze de Maio, 1081 Benfica CEP 60.040-531 Fortaleza-CE  
E-mail: andreluiz@cefetce.br

**H.N. Onofre**

Instituto de Telemática – CEFET-CE  
Av. Treze de Maio, 1081 Benfica CEP 60.040-531 Fortaleza-CE  
E-mail: herbert@itti.cefetce.br

**P.R.C. Araújo**

Instituto de Telemática – CEFET-CE  
Av. Treze de Maio, 1081 Benfica CEP 60.040-531 Fortaleza-CE  
E-mail: pregis@cefetce.br

**A. Rocha**

Instituto de Telemática – CEFET-CE  
Av. Treze de Maio, 1081 Benfica CEP 60.040-531 Fortaleza-CE  
E-mail: pregis@cefetce.br

**V. Castro**

COELCE  
Av. Treze de Maio, 1081 Benfica CEP 60.040-531 Fortaleza-CE  
E-mail: vcastro@coelce.com.br

### **RESUMO**

A implantação de sistemas de telemetria para o setor elétrico encontra dificuldade nos custos elevados dos equipamentos de comunicação de dados utilizados atualmente. A utilização de equipamentos de rádios de baixa potência, com custos reduzidos em relação aos sistemas de rádios e equipamentos com tecnologia celular e satélite, permitiria a utilização da telemetria em maior escala. Entretanto, devido as características inerentes dos rádios de baixa potência, como o curto alcance de suas comunicações, só permite a sua utilização quando em uma configuração de redes de sensores sem fio (RSSF). As RSSF são estruturas computacionais que apresentam inúmeros nós sensores. Os nós sensores são responsáveis por monitorar grandezas físicas em uma gama de aplicações. Este trabalho implementa um protocolo de roteamento para uma rede de sensores sem fio para permitir a gerência de elementos sensores para o setor elétrico. Inicialmente estudos de diversos protocolos de roteamento para RSSF foram realizados e levantados requisitos específicos de cada um. A identificação dos requisitos da RSSF aplicado aos sensores da rede elétrica em questão foi comparada com os requisitos dos protocolos estudados. Os protocolos com a utilização de mecanismos de difusão direta e roteamento por regeneração ativa foram implementados com modificações nos *headers* dos pacotes para melhor utilização da banda passante dos elementos de rádio utilizados. Os protocolos foram implementados em linguagem C e implantados em um sistema real. O protocolo desenvolvido se mostrou eficiente para as grandezas investigadas pelos sensores escolhidos. Parâmetros de transmissão e qualidade revelam a eficiência do protocolo proposto inicialmente bem como sua aplicabilidade. Este trabalho foi desenvolvido como parte de um projeto de pesquisa,

desenvolvimento e inovação em parceria com a COELCE para um sistema de supervisão para roubo de cabos elétricos.

PALAVRAS-CHAVE: RSSF; Telemetria; Sensores; Rádio; Sistema Elétrico

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o sistema elétrico carece de maior automação, principalmente no setor de distribuição, devido as dificuldades em levar sinais de dados a grandes distâncias a custos não proibitivos. O resultado da baixa automação do sistema elétrico pode ser observado na qualidade do serviço prestado pela concessionárias de energia elétrica. Defeitos ao longo de linhas de transmissão são difíceis de serem identificados e localizados. Gerenciamento de condições de elementos do sistema de transmissão, que poderia antever defeitos, é impraticável.

Além os problemas destacados, as concessionárias de energia elétrica vêm também sofrendo perdas, técnicas e comerciais, dos furtos de elementos do sistema elétrico, com maior ênfase para os cabos de cobre. Ladrões especializados furtam cabos de energia de localidades de baixa densidade demográfica. Esses furtos, além de gerar problemas de ordem financeira e técnica para as concessionárias, geram problemas econômicos e sociais para a população, com indústrias, hospitais e órgãos públicos sofrendo paralizações por falta de energia.

A partir dos problemas acima identificados, o CEFET-CE, através do ITTI (Instituto de Telemática), realizou uma parceria com a concessionária de energia local, a COELCE, para o desenvolvimento de um sistema automatizado para detecção e identificação em tempo real de furtos de cabos de energia elétrica. Esta parceria recebeu recursos dos fundos setoriais de energia elétrica aplicados pela própria empresa e pela Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP.

O desenvolvimento de um sistema em tempo real para a detecção de furtos, batizada de SURCA (SUPervisão para Roubo de CABos), é orientada a dois problemas principais. O primeiro problema diz respeito à identificação do momento em que o cabo é violado e localização da violação. O segundo problema está relacionado em levar a informação da violação a uma central para que as devidas providências sejam tomadas. Neste trabalho não será destacado o problema da identificação da violação, e sim somente as questões de comunicação de dados entre os sistemas da linha de transmissão e da central. Este sistema foi batizado de RSFSURCA.

O sistema de comunicação utilizado no RSFSURCA é uma típica rede de sensores sem fio [ref]. As redes de sensores sem fio foram utilizadas para a solução devido às características computacionais do sistema embarcado junto as linhas de transmissão e, principalmente, pelos custos envolvidos na comunicação e na instalação dos equipamentos serem baixos.

Apesar do assunto de rede de sensores sem fio ainda ser recente, muitas publicações sugerem um número elevado de topologias, protocolos de comunicação e estruturas de sensores. Um estudo das características dos principais protocolos de Rede de Sensores Sem Fio, RSSF, será objeto de estudo na seção dois deste trabalho. Uma análise da problemática encontrada em campo e o material escolhido para o desenvolvimento do trabalho, juntamente com os protocolos estudados da seção dois, servem de base para a descrição do protocolo RSFSURCA na seção três. Na seção quatro está descrita a metodologia de testes e o desenho do cenário de utilização da solução. Por fim, na seção cinco são apresentadas as conclusões e trabalhos futuros.

## 2. REDES DE SENSORES SEM FIO E PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

Redes de sensores sem fio (RSSFs) diferem de redes de computadores tradicionais em vários aspectos. Normalmente essas redes possuem um grande número de nodos distribuídos, possuem restrições de energia, e devem possuir mecanismos para auto-configuração e adaptação devido a problemas como falhas de comunicação e perda de nodos. Uma RSSF tende a ser autônoma e requer um alto grau de cooperação para executar as tarefas definidas para a rede. Isto significa que algoritmos distribuídos tradicionais, como protocolos de comunicação e eleição de líder, devem ser revistos para esse tipo de ambiente antes de serem usados diretamente. Os desafios e considerações de projeto de RSSFs vão muito além das redes tradicionais.

Um ponto fundamental para as RSSFs, e em particular para o problema do sistema elétrico, são os protocolos de comunicação. Os protocolos de comunicação são mecanismos de elaboração de mapas ou tabelas pelas quais os roteadores descobrem informações sobre a rede [2]. Visando uma eficiência no redirecionamento dos pacotes em uma determinada rede, os nodos da rede trocam entre si informações sobre o ambiente da rede.

Os protocolos de roteamento existentes para as redes convencionais ou para as redes móveis ad-hoc não são adequados ao contexto das RSSF, pois não consideram as limitações e características, salvo que sejam readequado dentro da realidade das RSSF. Esses protocolos devem ser projetados para maximizar o tempo de vida da rede [3].

Cada particularidade devem ser considerada, pois pode gerar algum tipo de problema ou permite que uma técnica específica de roteamento possa ser empregada, o objetivo principal de um protocolo de roteamento é considerar a limitação de uma RSSF[4], minimizar os problemas relativos às características da RSSF e empregar técnicas que utilizem tais características para otimizar o roteamento.

As principais características[5] a serem otimizadas de um protocolo de roteamento para RSSF são:

- Minimizar o consumo de energia;
- Maximizar o tempo de vida útil dos nós;
- Ser tolerante a falhas;
- Garantir eficiência na comunicação;
- Garantir eficiência na disseminação de dados.

Portanto, aplicações, protocolos e algoritmos para RSSFs não podem ser escolhidos considerando apenas sua capacidade, mas também as especificações de aplicação e dos nodos sensores. Assim, o projeto de qualquer solução para uma RSSF deve levar em consideração tais questões.

Os principais aspectos a serem considerados no projeto de redes de sensor sem fio, considerando o problema em questão, são[4]:

*Recursos limitados:* Devido a tamanhos bem reduzidos, os sensores utilizam microcontroladores que, normalmente, apresentam recursos limitados em relação a processamento e memória.

*Cobertura Extensa e Facilidade de Instalação:* As RSSF são redes de larga escala e, geralmente, o número de nós sensores pode ultrapassar em várias ordens de grandeza o número de nós de redes sem fio tradicionais. Além disso, a área de cobertura é bem maior comparada à área coberta por um sistema de sensoriamento comum. A área total coberta por uma RSSF é a união das diversas áreas de cobertura de sensores de baixo custo. Assim, a cobertura é bastante flexível e pode ser ajustada convenientemente inserindo novos nós ou movendo os existentes. Além disso, RSSF podem cobrir terrenos hostis, onde não há infra-estrutura pré-existente.

## 2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS PROTOCOLOS

A classificação dos protocolos de roteamento é feita de acordo com as diferentes abordagens utilizadas para a troca de informações entre os nodos da RSSF. Neste trabalho iremos dividir tais protocolos em 4 categorias básicas[4]:

- *Protocolos baseados em MAC* – Protocolos que utilizam as idéias dos protocolos das redes convencionais e aplicam técnicas para minimizar os problemas críticos de uma RSSF. Os principais protocolos de acesso ao meio projetados para RSSFs e disponíveis nas literaturas são listados a seguir: Protocolo S-MAC, ARC, T-MAC, B-MAC, DE-MAC e Protocolo TRAMA.

- *Protocolos de Roteamento Plano* – No roteamento plano todos os nós são considerados iguais do ponto de vista funcional, ou seja, a atividade de roteamento é tratada de forma idêntica por todos os nós da rede. Considera-se nós sem uma organização hierárquica. Alguns importantes algoritmos baseados em roteamento plano são apresentados a seguir: Protocolo SPIN, Difusão Direcionada, SAR, Adaptive Local Routing Cooperative Signal Processing, Protocolo Multi, Protocolo STORM/AD e TinyOS Beaconing[4].

- *Protocolos de Roteamento Hierárquico* – No roteamento hierárquico são estabelecidas duas classes distintas de nós: nós fontes e líderes de grupo (cluster heads). Os nós fontes simplesmente coletam e enviam os dados para o líder de seu grupo que pode executar uma fusão/agregação destes dados antes de enviá-lo para o gateway. Todos os nós são considerados iguais do ponto de vista funcional. Alguns algoritmos desta classe de roteamento hierárquico são citados abaixo: LEACH, TEEN, APTEEN (Adaptive TEEN), SHARP Hybrid Adaptive Routing Protocol e PEGASIS.

- *Protocolos de Roteamento Geográfico* – O roteamento geográfico [8] utiliza informações geográficas para rotear seus dados. Estas informações costumam incluir a localização dos nós vizinhos. Os dados de localização podem ser definidos a partir de um sistema de coordenadas globais (GPS - Global Position System) ou mesmo de um sistema local válido, somente para os nós da rede ou válidos somente para subconjuntos de nós vizinhos. Os principais

algoritmos geográficos utilizados em RSSFs são: Protocolo LEACH-C, Protocolo ICA, Geographic Routing without Location Information, GeoMote, GEAR e GPSR.

### 3. PROTOCOLO RSFSURCA

A construção do protocolo RSFSURCA foi realizada a partir das características do sistema elétrico em questão. Inicialmente, consideramos diversos elementos sensores espalhados de forma espacial e não uniforme pelo sistema elétrico, cada qual distante um do outro a no máximo 300 metros. Estes elementos sensores são compostos basicamente por um sistema de carga de bateria, uma bateria, o elemento sensor de presença de cabo, e o sistema de comunicação sem fio. O sistema de comunicação sem fio é composto por um rádio de baixa potência. Os rádios transmitem dados através de sinalização digital a uma frequência de 433 MHz e potência máxima de 10mW. Essas características permitem alcances de comunicação de rádio em campo aberto até 300 metros.

A partir das características do problema foi identificada, para a construção do protocolo, a topologia flat [ref]. Nesta topologia temos elementos dentro de um raio de alcance que funcionam como uma topologia convencional de barra [ref]. Entretanto somente um subconjunto de elementos sensores são pertencentes a uma mesma barra. Teremos então vários subconjuntos de elementos sensores divididos em várias barras, existindo interseção entre esses subconjuntos. As interseções é que permitem a comunicação ampla de todos os sensores. Na figura 2, podemos observar os elementos sensores agrupados em conjuntos (A, B e C). Em cada conjunto, todos os sensores se comunicam com todos, como em uma topologia em barra. Os elementos em vermelho fazem parte de interseção de conjuntos e permitem o roteamento de dados entre elementos de dois conjuntos que não necessariamente pertençam a interseção.

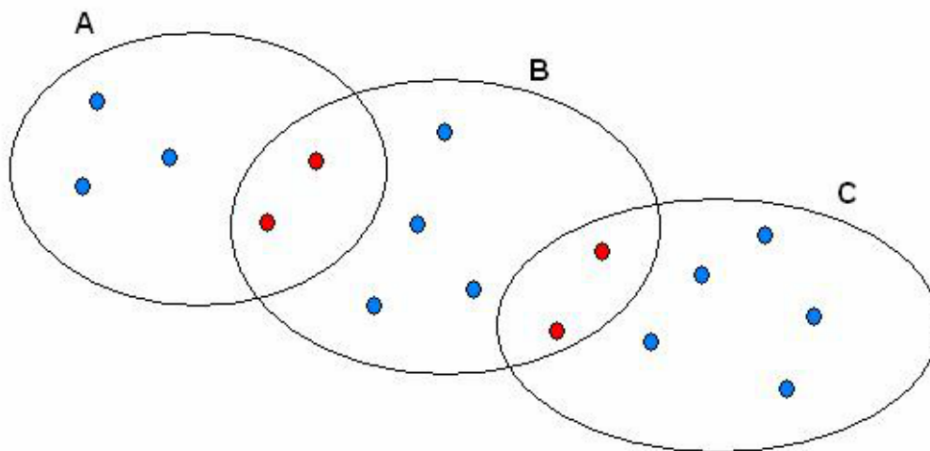


Figura 1. Topologia Flat

Além dos sistemas de comunicação de rádio de baixa potência, o RSFSURCA possui um elemento gateway. O elemento gateway é equipado com um sistema de comunicação de rádio de potência elevada capaz de transmitir informações a distância equivalente a quilômetros, até uma estação de monitoramento. Nesse caso opta-se por utilizar um sistema de telecomunicações público, como a rede de dados GPRS de uma operador de celular local.

#### 3.1. SINTAXE DO PROTOCOLO

A partir das características anteriormente traçadas, a especificação IEEE 802.3[1], na qual define a camada de acesso ao meio nas redes em barra, foi utilizado como base para o protocolo RSFSURCA. A especificação IEEE802.3 é um protocolo baseado em MAC e funciona estritamente dentro de um subconjunto barra da estrutura da rede. Outros algoritmos baseados em roteamento plano também foram tomados como referência, como o protocolo da difusão direta. A junção das duas características de protocolo é representada a seguir. A figura 2 apresenta a estrutura de um quadro do protocolo RSFSURCA.

<b>SFD</b> ( 8 bits )	<b>DESTINATÁRIO</b> ( 24 bits )	<b>REMETENTE</b> ( 24 bits )	<b>TTL</b> ( 8 bits )	<b>COMANDO</b> ( 8 bits )	<b>COMPRIMENTO</b> ( 8 bits )	<b>DADOS</b> ( 0 - 200 bits )	<b>FCS</b> ( 16 bits )
--------------------------	------------------------------------	---------------------------------	--------------------------	------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	---------------------------

**Figura 2. Estrutura do quadro do RSFSURCA**

O primeiro quadro denominado SFD -start frame data - , é o campo que indica início de transmissão de um quadro. O quadro SFD evita que qualquer elemento inicie o processo de recebimento de um quadro por motivos errados, como interferências que venham ser confundidas como um dado válido.

Os campos destinatário e remetente servem para endereçamento dos elementos sensores que devem ser distribuídos de forma unívoca. Em relação às atribuições dos endereços dos sensores, deverá ser responsabilidade do mantenedor da rede. Neste caso temos um endereçamento hierárquico, onde o primeiro octeto representa o local de instalação do sensor, o segundo representa o segmento de rede qual o sensor pertence e, finalmente, o terceiro octeto representa o identificador do nó na rede. Esse endereço é utilizado para identificar e destinatário e o remetente da mensagem, através de dois campos de 3 octetos cada um.

O campo TTL (*time to live*) tem o objetivo de determinar o tempo de vida do pacote na rede de forma que desempenha o papel de identificador de quantos saltos serão necessários para o pacote alcançar a BS (*Base Station*), representado na RSFSURCA como o Gateway. O campo TTL teve origem baseada na especificação do protocolo IP[2]. Sua funcionalidade é utilizada para evitar que o pacote fique em loop na rede, visto que a cada salto o campo TTL é subtraído uma unidade e logo que atinge o valor zero o pacote não pode ser roteado na rede. O campo de comando representado por um octeto, define o código do comando a ser tratado.

Já o campo comprimento é composto por um octeto cujo valor indica o número de octetos de dados. O campo de dados é uma seqüência de n octetos tem tamanho variável de acordo com o campo comprimento, e contém informações referentes ao comando do frame. E, finalmente, o campo FCS contém um verificar de redundância cíclica (CRC 16) de dois octetos, cujo o valor é gerado através de um polinômio gerador, conforme a equação 1.

$$G(x) = X^{16} + X^{15} + X^2 + 1 \quad (1)$$

### 3.2. SEMÂNTICA DO PROTOCOLO

A estratégia adotada pelo o protocolo RFSURCA foi uma compilação e adequação de alguns outros protocolos já especificados em trabalhos como citados na seção 2. Esses protocolos apresentam características que puderam ser reutilizadas no desenvolvimento do RSFSURCA. Alguns aspectos importantes foram considerados e outros de relevância inferior foram desprezados nessas tais características. Destacando-se entre elas a do baixo poder de processamento e o de severa restrição de memória do sistema de controle.

É relevante comentar neste ponto que a rede não apresenta restrição de energia, visto que todos os elementos sensores da rede necessita está conectado com a rede elétrica para monitorá-la. Em caso de suspensão de fornecimento de energia, o sistema de bateria têm autonomia para funcionamento contínuo em tempo superior a 72 horas.

O protocolo RSFSURCA usa o mecanismo de acesso baseado em contenção[1], ou seja, não existe ordem de acesso e nada impede que dois ou mais nós transmitam as informações simultaneamente. Essa estratégia acarreta, geralmente, em perda de mensagens, e o erro pode ser identificado através do campo de FCS. Em contrapartida, o desempenho da rede é superior a outros baseados em contenção quando se leva em conta o tráfego da rede de sensores. Em situações que ocorrer sobreposição do frame, detectada através do CRC, a estação base envia uma mensagem para o remetente informando que ocorreu um erro de crc, e que a mesma deverá transmitir o frame novamente.



A arquitetura da rede foi estruturada de acordo com o modelo flat [3], no qual todos os sensores desempenham a mesma funcionalidade na rede, e é nesse contexto que todos os sensores têm, intrinsecamente, além de realizar o sensoriamento, que distribuir as mensagens de outros nós para que as informações possam alcançar a estação base (BS).

As mensagens são encaminhadas para os nós seguintes através do conceito de regeneração ativa[4], onde todos os sensores que estão na vizinhança podem retransmitir a mensagem, desde que as condições ilustradas no diagrama da figura 3 sejam satisfeitas. Ou seja, os endereços de destino e de origem devem ser diferentes do endereço do nó que recebeu o pacote, e também o conteúdo do campo TTL deve ser maior que zero.

Devido todos os sensores serem, também, repetidores, os protocolos da especificação 802.3, tiveram que ser readequado para evitar os loops de comunicação. O diagrama apresentado na figura 3 ilustra a lógica executada pelo mecanismo de roteamento de cada nó.

Ao receber um frame um nó, primeiramente, analisa o conteúdo dos campos destinatários e remetente. Na condição de ser o destinatário o comando será devidamente tratado e responde ao remetente que a operação foi executada com sucesso ou que não foi possível executar e qual o motivo não porque não foi possível executar o comando. Já na condição em que o destinatário e origem sejam diferentes, o frame é identificado como um pacote que deve ser redistribuído. É nesse aspecto que o campo TTL é utilizado para evitar os loops de comunicação ao longo da rede.

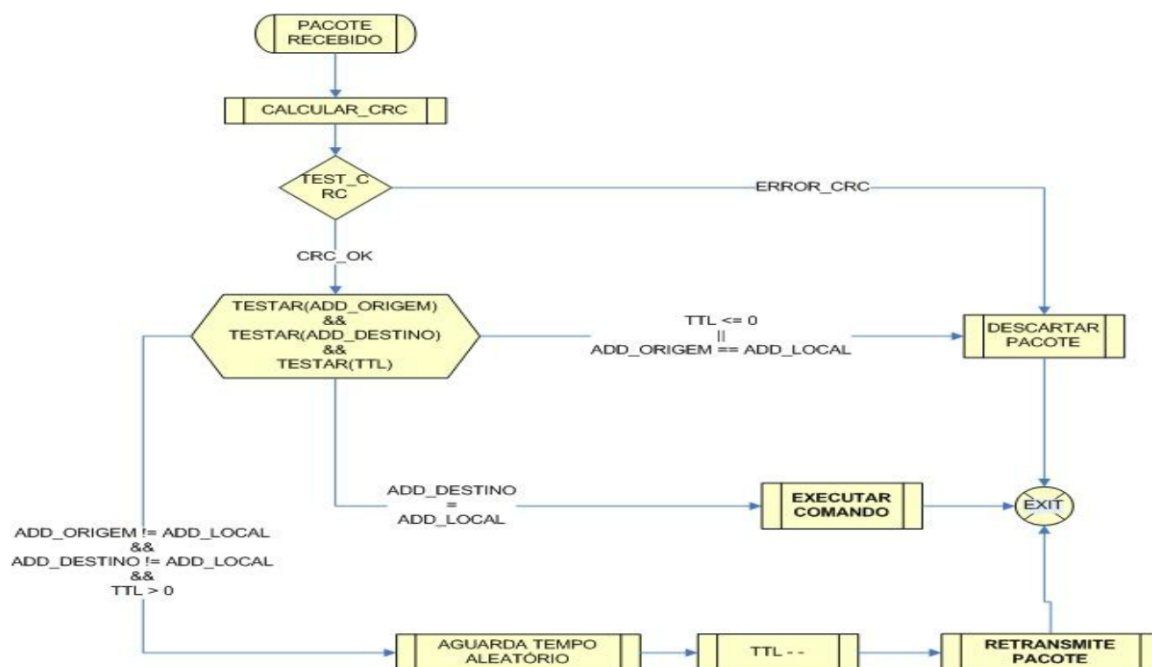
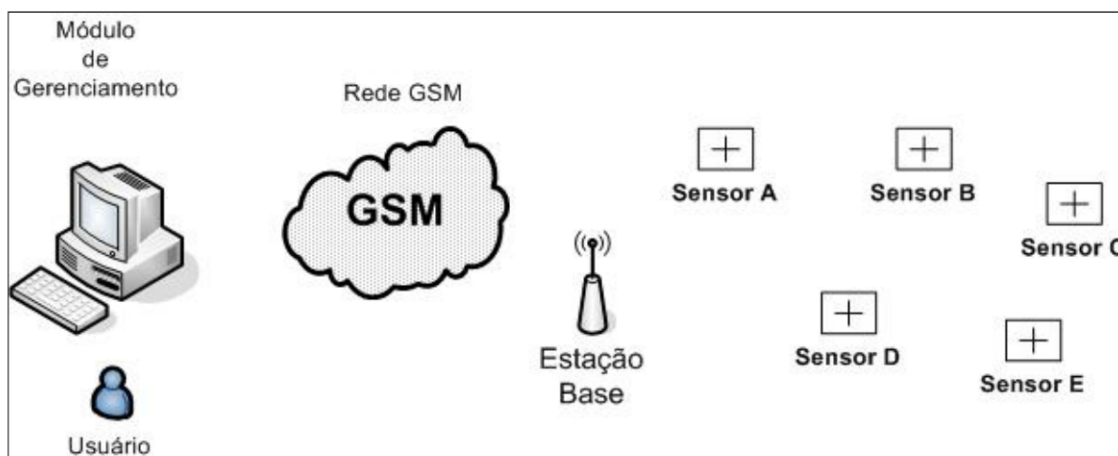


Figura 3. Diagrama do Funcionamento do Protocolo RSFSURCA

#### 4. METODOLOGIA E CENÁRIOS

Devido à quantidade reduzida de ferramentas de simulação para a área de rede de sensores sem fio, a equipe optou por implementar fisicamente a rede RSFSURCA. Para tanto foram desenvolvidos quatro sistemas de comunicação, sendo três elementos sensores nodos da rede e um gateway. Os nodos da rede foram desenvolvidos a partir de microcontroladores PIC 16F877 e os rádios de baixa potência na faixa de 433MHz. O elemento gateway, além do sistema presente no nodo da rede, possui adicionalmente um modem celular GSM operando com o protocolo GPRS, permitindo dessa forma a visualização dos dados remotamente através de um servidor WEB. O seguinte cenário de utilização permite o entendimento do protocolo, a partir da figura 4.



**Figura 4. Arquitetura do Sistema Surca**

A interface de gerenciamento é o sistema no qual a companhia poderá identificar, em tempo real, os eventos que acontecem na rede elétrica. A estação base tem a função de um sensor, mas com a distinção de concentrar as informações pertinentes aquele seguimento da rede que se deseja monitorar, e enviar, através da rede GSM, para o módulo de gerenciamento. Os sensores, têm a finalidade de identificar as ações dos meliantes, e disparar traps para a estação base. Os sensores são dispostos em uma rede para que o sistema possa alcançar um maior raio de monitoramento. Isso torna-se necessário devido a limitação do raio de alcance dos rádios de comunicação.

De acordo com o cenário ilustrado na figura 4 poderíamos imaginar que o *Sensor E* identificar o evento de um furto. O sensor E está no mesmo raio de comunicação com os sensores C e D. O conteúdo do campo TTL do frame de trap contém o valor 3, ou seja, necessita de três saltos para alcançar a estação base. Logo que enviado o trap, os sensores C e D recebem o frame, faz o processamento e identifica que o mesmo deverá ser retransmitido. Então os sensores C e D recebem o frame subtrai uma unidade do campo TTL, aguarda um tempo aleatório e retransmite-o com o campo contendo duas unidades. Como o sensor B é o único que está no raio de alcance do Sensores D e C, o primeiro pacote que chegar no Sensor B seguirá o mesmo processo e será retransmitido, só que agora o campo TTL contém 1. E finalmente, o Sensor A recebe o pacote e repassará para a Estação Base. É importante destacar, que em situações que ocorram colisões o sensor que detectar erro de CRC descarta o pacote, e o remetente identificará o não recebimento da confirmação do recebimento e retransmitirá a informação novamente.

#### 4.1 VALIDAÇÃO DO PROTOCOLO

Para validação do protocolo, o campo dados carrega o *log* de cada elemento sensor. Dentre as informações do *log* de cada elemento sensor podemos destacar: quantidade de quadros válidos por nodo (QVR); quantidade de quadros não válidos por nodo (QNVR); quantidade de colisões detectadas (CD); quantidade de quadros perdidos por TTL expirado (TTLE); quantidade de retransmissões por *time-out* (RTO); entre outras. Além da análise dos *logs* de cada sensor foram também testados se alguma informação não foi recuperada pelo gateway.

Nos testes de laboratório, nenhuma informação foi perdida, validando assim a funcionalidade do protocolo. A análise dos *logs* de cada nodo sensor serve para avaliar a performance da rede. Para tanto, o seguinte teste foi realizado. Cada nodo é programado para enviar dados em tempos aleatórios nunca superiores a um segundo, simulando desta forma um caso crítico de utilização da rede. Os nodos 1 e 3 não conseguem se comunicar diretamente devido questões de distância, se comunicando portanto pelo nodo 2. Os seguintes dados foram então obtidos:

**Tabela I. Análise de Parâmetros de Nodos da Rede**

Nodo	QVR	QNVR	CD	TTLE	RTO
1	120	15	15	78	12
2	67	89	89	23	23
3	111	23	23	57	23

A partir da análise dos parâmetros em aproximadamente 1 hora, vimos que a performance é deteriorada no nodo intermediário. Isso é refletido diretamente na quantidade retransmissões necessárias dos nodos periféricos. Entretanto, considerando que o algoritmo possui baixa complexidade em relação aos estudados anteriormente e que



os testes levaram em conta situações que não existirão na prática, a equipe optou por não modificar o protocolo e implantar em campo a solução.

Foi definido um local crítico de roubo de cabos para a instalação da solução. O sistema já está em funcionamento a sessenta dias realizando a monitoração em tempo real da situação da planta instalada. Até o momento nenhum furto foi detectado.

## 5. CONCLUSÕES

O projeto SURCA atendeu totalmente as expectativas da companhia energética. Testes realizados em laboratórios provaram a eficiência não só da rede de sensores sem fio, como a solução de sensoramento de presença de cabos, não visualizada neste trabalho.

Em relação ao protocolo RSFSURCA, apesar de validado, estudos de performance da rede serão aprofundados, bem como a modelagem matemática do comportamento de cada nodo sensor, afim de otimização do protocolo. O auto endereçamento de nodos também deve ser implementado para tornar uma rede ad-hoc.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] : Technical Committee on Computer Communications of the IEEE Computer Society. **An American National Standard IEEE Standards for Local Area Networks: Supplements to Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications**. 1987, ANSI/IEEE Std 802.3a,b,c, and e-1988.
- [2] : Defense Advanced Research Projects. **RFC 791 - Internet Protocol**. Califônia, 1981.
- [3] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian, E. Cayirci. **A survey on sensor networks**. IEEE Communications Magazine, Volume: 40 p: 8, p.102-114, August 2002.
- [4] Al-Karaki, J.N. Kamal, A.E. Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey. IEEE Wireless Communications, v. 11, n 6, p 6- 28, Dez, 2004.
- [5] C. Rahul, J. Rabaey, \Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks", IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), v.1, Março, 2002, Orlando, FL, p. 350-355.
- [6] W. Heinzelman, J. Kulik, H. Balakrishnan. **Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks**, Proc. 5th ACM/IEEE Mobicom Conference (MobiCom '99), Seattle, Agosto, 1999. p. 174-85.
- [7] C. Schurgers and M.B. Srivastava, **Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks**. *MILCOM Proc. Commun. for Network-Centri*, Force McLean, VA, 2001.
- [8] : Y. Xu, J. Heidemann, D. Estrin. **Geography-informed Energy Conservation for Ad-hoc Routing**. 7th Annual ACM/IEEE Int'l. Conf. Mobile Comp. and Net., 2001, p. 70-84.
- [9] : L. Subramanian, R. H. Katz. **An Architecture for Building Self Configurable Systems**. *IEEE/ACM Wksp. Mobile Ad Hoc Net. and Comp.* Boston, MA, Agosto, 2000.